

**IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR DC
MENGUNAKAN KONTROLER PID PADA SISTEM PENEKANAN
SAMPAH PADA ALAT PEMADAT SAMPAH RUMAH TANGGA**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ALIF RASYADAN IZZATUR RAHMAN
NIM. 175060300111009

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG

2021



LEMBAR PENGESAHAN
IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR DC
MENGGUNAKAN KONTROLER PID PADA SISTEM PENEKANAN
SAMPAH PADA ALAT PEMADAT SAMPAH RUMAH TANGGA
SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ALIF RASYADAN IZZATUR RAHMAN
NIM. 175060300111009

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 13 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

Dosen Pembimbing II

Rahmadwati, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19771102 200604 2 003

Mengetahui

Plt. Ketua Jurusan Teknik Elektro



M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

JUDUL:

IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN KONTROLER PID PADA SISTEM PENEKANAN SAMPAH PADA ALAT PEMADAT SAMPAH RUMAH TANGGA

Nama Mahasiswa : Alif Rasyadan Izzatur Rahman

NIM : 175060300111009

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Kontrol

KOMISI PEMBIMBING:

Ketua : Muhammad Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.

Anggota : Rahmadwati, ST., MT., Ph.D.

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.

[Signature] **disetujui tanggal 13 Juli 2021**

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Mochammad Rusli, Dipl.Ing.

[Signature] **disetujui tanggal 13 Juli 2021**

Tanggal Ujian : 5 Juli 2021

SK Penguji : No. 1073 Tahun 2021



LEMBAR ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 15 Juni 2021

Mahasiswa,

Alif Rasyadan Izzatur R.
NIM. 175060300111009





*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada
Ayahanda dan Ibunda Tercinta
Dan Keluarga Besar*





RINGKASAN

Alif Rasyadan Izzatur Rahman, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2021, *Implementasi Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontroler PID Pada Sistem Penekanan Sampah Pada Alat Pemadat Sampah Rumah Tangga*, Dosen Pembimbing 1: Muhammad Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D, Dosen Pembimbing 2: Rahmadwati, ST., MT., Ph.D.

Sistem pengelolaan limbah padat yang efektif dan efisien sangat diperlukan untuk menjaga lingkungan kita tetap bersih. Dalam rangka mengurangi timbunan sampah dapat dilakukan dengan cara memadatkan volume sampah sehingga dapat dengan mudah dikelola oleh penyedia layanan pengumpulan sampah. Dengan menggunakan motor DC sebagai aktuator yang terhubung dengan *gear* dan rantai untuk menggerakkan batang berulir, batang berulir mengubah gerak rotasi motor menjadi gerakan linear untuk menggerakkan pelat penekan yang berfungsi memadatkan sampah rumah tangga, dibutuhkan kecepatan motor DC yang konstan. Kecepatan putar motor dibaca oleh sensor *rotary encoder* yang terpasang pada bagian belakang motor DC. Kecepatan diatur melalui *motor driver* dengan mengatur nilai PWM (*Pulse Width Modulation*).

Kontroler yang digunakan adalah kontroler Proporsional Integral Derivatif (PID). Penentuan parameter kontroler Kp, Ki dan Kd dilakukan dengan *Hand Tuning* dan didapatkan parameter kontroler Kp = 0,116, Ki = 2,245, dan Kd = 0,015. Setelah melakukan beberapa kali pengujian didapatkan nilai *settling time* rata-rata = 0,73 detik, *rise time* rata-rata = 0,325 detik, *error steady state* kurang dari 1%, dan *overshoot* kurang dari 0,8 %. Dan didapatkan waktu *recovery* rata-rata 5,38 detik serta *overshoot* kurang dari 5 % ketika sistem mengalami gangguan.

Kata Kunci: Motor DC, *Trash Compactor*, PID, *Hand Tuning*.



SUMMARY

Alif Rasyadan Izzatur Rahman, *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, June 2021, IMPLEMENTATION OF DC MOTOR SPEED CONTROL SYSTEM USING PID CONTROLLER IN HOUSEHOLD WASTE COMPRESSION SYSTEM*, Supervisor 1: Muhammad Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D., Supervisor 2: Rahmadwati, ST., MT., Ph.D.

An effective and efficient solid waste management system is necessary to keep our environment clean. In order to reduce waste accumulation, it can be done by compacting the volume of waste so that it can be easily managed by waste collection service providers.

By using a DC motor as an actuator connected to a gear and chain to move the threaded rod, the threaded rod changes the rotational motion of the motor into a linear motion to move the pressure plate which functions to compact household waste, a constant DC motor speed is required. The rotational speed of the motor is read by a rotary encoder sensor mounted on the back of the DC motor. Speed is controlled through the motor driver by setting the PWM (Pulse Width Modulation) value.

The controller used is the Proportional Integral Derivative (PID) controller. Determination of controller parameters K_p , K_i and K_d is done using the Hand Tuning method and the controller parameter K_p is obtained. $K_p = 0.116$, $K_i = 2.245$, and $K_d = 0.015$. After doing the test, the average settling time value = 0.73 seconds, the average rise time = 0.325 seconds, the steady state error is less than 1%, and the overshoot is less than 0.8%. And the recovery time average is 5,38 second and the overshoot is less than 5% when the system is experiencing problems.

Keywords: DC Motor, Trash Compactor, PID, Hand Tuning.



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontroler PID pada Sistem Penekanan Sampah pada Alat Pemadat Sampah Rumah Tangga” dengan baik. Tak lepas shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan bagi yang mengharapkan rahmat dan hidayah-Nya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kelancaran, kemudahan dan hidayah-Nya.
2. Orang tua penulis, Bapak Hendrawan dan Ibu Neneng Rahayu yang selalu memberikan doa, perhatian, serta dukungan moril maupun materiil kepada penulis selama ini.
3. Yang Terhormat Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Yang Terhormat Ibu Ir. Nurussa'adah, MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Yang Terhormat Ibu Rahmadwati, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya sekaligus sebagai Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan, saran dan motivasi.
6. Yang Terhormat Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional Konsentrasi Teknik Kontrol Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan, saran dan motivasi.
7. Teman-teman ELCO 2017 dan Teknik Kontrol 2017 atas segala bantuan dan kebersamaan yang telah diberikan selama masa studi.
8. Keluarga besar Workshop Robotika Universitas Brawijaya yang selalu memberikan dukungan, semangat dan motivasinya.
9. Tim Robot KRSTI terkhusus Angkatan 2017, Fahma, Uwi yang telah memberikan pengalaman akademik maupun non-akademik selama penulis bergabung di dalam tim.
10. Keluarga besar Delta Independent Enterprise terkhusus kepada Alfian, Andri, Ryan, Teja, Adela yang telah memberikan saran, motivasi, dan bantuannya.

11. Keluarga besar Puri Bunga II, Glandy, Fahmi, Faridzky, Fahreza yang telah memberikan semangat dan motivasi dalam mengerjakan penelitian ini.

12. Tim Capstone Design Project “Smart Trash Compactor pada Rumah Tangga”, Faridzky, Fahmi yang telah memberikan bantuan secara materiil maupun non-materiil dalam mengerjakan penelitian ini.

13. Seluruh teman-teman serta semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis untuk mencantumkan satu-persatu, terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

Dalam penyusunan ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna karena keterbatasan ilmu yang dimiliki serta terdapat kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu penulis berharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan dimasa mendatang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Juni 2021

Penulis



DAFTAR ISI

RINGKASAN	i
SUMMARY	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Pembahasan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Motor DC	5
2.2 <i>Rotary encoder</i>	7
2.3 Driver Motor BTS7960	8
2.4 Mikrokontroler Arduino Mega2560	10
2.5 <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	11
2.6 Kontroler	11
2.6.1 Kontroler Proporsional	12
2.6.2 Kontroler Integral	13
2.6.3 Kontrol Derivatif	13
2.6.4 Kontroler PID (Proporsional Integral Derivatif)	14
2.7 Metode <i>Hand Tuning</i> atau <i>Trial and Error</i>	15
2.8 Pengambilan Data <i>Input - Output</i>	16
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Perancangan Blok Diagram Sistem	21
3.2 Spesifikasi Desain	21
3.3 Karakterisasi Motor DC	21
3.4 Karakteristik <i>Driver</i> Motor	23

3.5	Penentuan Fungsi Alih Motor DC	25
3.6	Penentuan Parameter Kontroler PID.....	28
3.7	Pembuatan Perangkat Keras	29
3.7.1	Skema Pembuatan Perangkat Keras	32
3.7.2	Penentuan Modul Elektrik.....	32
3.7.3	Prinsip Kerja Sistem.....	34
3.8	Pembuatan Algoritma dan Program.....	35
3.9	Perancangan Pengujian Sistem	36
3.9.1	Pengujian Sistem Tanpa Beban.....	36
3.9.2	Pengujian Sistem Berbeban.....	36
3.9.3	Simulasi Pengujian Sistem dengan Gangguan.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1.	Pengujian Sistem Tanpa Beban	37
4.1.1.	Pengujian Dengan <i>Setpoint</i> 400 rpm.....	37
4.1.2.	Pengujian dengan <i>Setpoint</i> 450 rpm.....	38
4.1.3.	Pengujian dengan <i>Setpoint</i> 500 rpm.....	40
4.2.	Pengujian Sistem dengan Beban.....	41
4.2.1.	Pengujian dengan <i>Setpoint</i> 400 Rpm	41
4.2.2.	Pengujian dengan <i>Setpoint</i> 450 rpm.....	42
4.2.3.	Pengujian dengan <i>setpoint</i> 500 rpm	44
4.3.	Simulasi Pengujian Sistem dengan Gangguan.....	45
4.3.1.	Simulasi Pengujian dengan <i>setpoint</i> 400 rpm	45
4.3.2.	Simulasi Pengujian dengan <i>setpoint</i> 450 rpm	46
4.3.3.	Simulasi Pengujian dengan <i>setpoint</i> 500 rpm	47
4.4.	Hasil Pengujian Sistem	49
BAB V PENUTUP		51
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA		53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian ekuivalen motor DC magnet permanen	6
Gambar 2.2 Diagram blok pengontrolan motor DC magnet permanen	7
Gambar 2.3 Motor DC PG45	7
Gambar 2.4 <i>Rotary Encoder</i>	8
Gambar 2.5 Driver Motor BTS7960	9
Gambar 2.6 Rangkaian <i>H-Bridge</i>	9
Gambar 2.7 Arduino Mega2560	10
Gambar 2.8 <i>Duty Cycle</i> pada sinyal PWM	11
Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Proporsional	12
Gambar 2.10 Diagram blok kontroler Integral	13
Gambar 2.11 Blok Diagram Kontroler Derivatif	14
Gambar 2.12 Diagram blok kontroler PID (Proporsional Integral Derivatif)	15
Gambar 3.1 Diagram hubungan antar sub sistem	20
Gambar 3.2 Diagram tingkat kedua sub sistem motor DC	20
Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem	21
Gambar 3.4 Pengujian motor DC	23
Gambar 3.5 Grafik pengujian <i>motor driver</i>	25
Gambar 3.6 Sinyal masukan PRBS dan keluaran motor DC	26
Gambar 3.7 <i>System Identification Toolbox Matlab</i>	26
Gambar 3.8 Hasil estimasi model	27
Gambar 3.9 Estimasi model fungsi alih motor DC	27
Gambar 3.10 Validasi fungsi alih motor DC	28
Gambar 3.11 Keluaran sistem dengan nilai $K_p = 0,116$, $K_i = 2,245$ dan $K_d = 0,015$	29
Gambar 3.12 Bentuk fisik alat	30
Gambar 3.13 Motor DC yang terhubung dengan <i>rotary encoder</i>	30
Gambar 3.14 <i>Shaft</i> motor DC terhubung dengan <i>gear</i> dan rantai	31
Gambar 3.15 Plat penekan terhubung dengan ulir dan rantai	31
Gambar 3.16 Peletakan <i>limit switch</i>	31
Gambar 3.17 Diagram hubungan antar perangkat keras	32
Gambar 3.18 Laptop	32
Gambar 3.19 Mikrokontroler arduino mega 2560	33
Gambar 3.20 <i>Power Supply</i> 24 V	33

Gambar 3.21 <i>Driver motor</i> BTS7960.....	33
Gambar 3.22 Motor DC PG45.....	34
Gambar 3.23 Sensor <i>rotary encoder</i>	34
Gambar 3.24 <i>Flowchart</i> pengujian.....	35
Gambar 4.1 Keluaran sistem tanpa beban dengan <i>setpoint</i> 400 rpm.....	37
Gambar 4.2 Keluaran sistem tanpa beban dengan <i>setpoint</i> 400 rpm.....	38
Gambar 4.3 Keluaran sistem tanpa beban dengan <i>setpoint</i> 450 rpm.....	39
Gambar 4.4 Keluaran sistem tanpa beban dengan <i>setpoint</i> 450 rpm.....	39
Gambar 4.5 Keluaran sistem tanpa beban dengan <i>setpoint</i> 500 rpm.....	40
Gambar 4.6 Keluaran sistem tanpa beban dengan <i>setpoint</i> 500 rpm.....	40
Gambar 4.7 Keluaran sistem berbeban dengan <i>setpoint</i> 400 rpm.....	41
Gambar 4.8 Keluaran sistem berbeban dengan <i>setpoint</i> 400 rpm.....	42
Gambar 4.9 Keluaran sistem berbeban dengan <i>setpoint</i> 450 rpm.....	43
Gambar 4.10 Keluaran sistem berbeban dengan <i>setpoint</i> 450 rpm.....	43
Gambar 4.11 Keluaran sistem berbeban dengan <i>setpoint</i> 500 rpm.....	44
Gambar 4.12 Keluaran sistem berbeban dengan <i>setpoint</i> 500 rpm.....	44
Gambar 4.13 Keluaran sistem dengan <i>setpoint</i> 400 rpm.....	45
Gambar 4.14 Keluaran sistem dengan gangguan pada <i>setpoint</i> 400 rpm.....	45
Gambar 4.15 Keluaran sistem dengan <i>setpoint</i> 450 rpm.....	46
Gambar 4.16 Keluaran sistem dengan gangguan pada <i>setpoint</i> 450 rpm.....	47
Gambar 4.17 Keluaran sistem dengan <i>setpoint</i> 500 rpm.....	48
Gambar 4.18 Keluaran sistem dengan gangguan pada <i>setpoint</i> 500 rpm.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Mikrokontroler Arduino Mega2560	10
Tabel 2.2 Penentuan parameter PID dengan metode <i>hand tuning</i>	15
Tabel 2.5 Variasi panjang sekuensial PRBS	16
Tabel 2.6 Periode sampling data berdasarkan tipe <i>plant</i>	17
Tabel 3.1 Data pengujian motor DC	22
Tabel 3.2 Data pengujian <i>driver motor</i>	24
Tabel 4.1 Hasil pengujian sistem tanpa beban	49
Tabel 4.2 Hasil pengujian sistem dengan beban	49
Tabel 4.3 Hasil pengujian sistem dengan gangguan	49



Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah merupakan hasil dari sisa kegiatan sehari-hari manusia dari proses alam yang bentuknya padat (Suyoto, 2008). Sampah juga diartikan sebagai suatu benda atau bahan yang sudah tidak lagi memiliki kegunaan bagi manusia. Stigma yang muncul dari kebanyakan masyarakat dalam mendefinisikan sampah yakni sebagai sesuatu yang menjijikkan, sehingga harus melalui proses pembakaran atau dibuang sebagaimana mestinya (Mulasari, 2012). Hal ini tentu saja menjadi tanggung jawab bagi seluruh masyarakat untuk dapat mengolah sampah tersebut agar tidak merugikan bagi lingkungan sekitar (Hardiatmi, 2011).

Sistem pengelolaan limbah padat yang efektif dan efisien sangat diperlukan untuk menjaga lingkungan kita tetap bersih dan higienis. *Reduce*, *Reuse*, dan *Recycle* atau disingkat 3R sampai sekarang masih menjadi cara terbaik dalam mengelola dan menangani sampah dengan berbagai permasalahannya. *Reduce* atau dalam artian mengurangi berarti masyarakat mengurangi penggunaan barang sekali pakai yang dapat memperbesar volume sampah. *Reuse* berarti menggunakan kembali barang bekas seperti mengisi ulang botol kecap. Sedangkan *recycle* berarti mendaur ulang atau memanfaatkan kembali sampah menjadi suatu produk yang berguna.

Dalam rangka mengurangi timbunan sampah dapat dilakukan dengan penerapan 3R, yaitu salah satunya *reduce* dengan cara pemadatan sampah menjadi volume yang dapat dengan mudah dikelola oleh penyedia layanan pengumpulan sampah. Dengan demikian volume sampah dapat berkurang. Maka dari itu dibuat suatu alat yang dapat mengurangi volume sampah sehingga dapat menghemat ruangan, diperlukan suatu sistem yang dapat memadatkan sampah, salah satunya adalah dengan menggunakan Motor DC.

Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Motor DC yang digunakan pada penelitian kali ini adalah motor DC PG45. Motor DC PG45 yang digunakan telah terhubung dengan sensor *rotary encoder* yang di pasang pada bagian belakang motor DC untuk membaca kecepatan motor.

Agar kecepatan putaran motor DC sesuai dengan yang diinginkan. Dibutuhkan sebuah kontroler untuk mengatur kecepatan motor DC. Terdapat beberapa macam tipe kontroler seperti kontroler proporsional (P) yang berfungsi untuk mempercepat *rise time*, kontroler

integral (I) berfungsi mengurangi *error steady state*, dan kontroler derivatif (D) berfungsi untuk meningkatkan kestabilan dan meningkatkan respons *transient*, dan kontroler proporsional integral derivatif (PID) adalah gabungan dari kontroler P, I, dan D. Berdasarkan karakteristik dari masing-masing kontroler maka pada penelitian ini digunakan kontroler proporsional integral derivatif (PID) adalah aksi kontrol yang memiliki keluaran cepat, dan menghilangkan *error steady state* dan meningkatkan kestabilan sehingga sesuai untuk mengontrol motor DC. (R. Selvy, 2016). Kontroler PID sendiri membutuhkan parameter K_p , K_i , dan K_d yang harus dicari terlebih dahulu. Maka dibutuhkan sebuah metode untuk menentukan parameter kontroler PID.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam skripsi ini ditekankan pada:

1. Bagaimana merancang sistem kontrol kecepatan motor dc pada alat pemadat sampah rumah tangga.
2. Bagaimana keluaran sistem setelah diberi kontroler PID.
3. Bagaimana keluaran sistem saat diimplementasikan pada alat.

1.3 Batasan Masalah

Demi terfokusnya objek pengkajian, maka dilakukan pembatasan masalah. Adapun batasan masalah pada skripsi ini adalah:

1. Metode penentuan parameter kontroler yang digunakan adalah *Hand Tuning*.
2. Motor *Driver* yang digunakan adalah BTS7960.
3. Motor yang digunakan adalah motor DC PG45 500 RPM.
4. Tegangan yang digunakan pada motor DC adalah 24V.
5. Tegangan mikrokontroler adalah 5V.
6. Sistem operasi kerja ditentukan pada rentang nilai yang linier.
7. *Duty cycle* pengujian yang digunakan berkisar 80% – 100%.
8. Pengujian dengan melihat respons sistem saat penelitian di implementasikan.
9. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega2560.
10. Sampah rumah tangga yang digunakan adalah sampah campuran sisa-sisa rumah tangga (organik & anorganik).
11. Tidak membahas torsi pada motor yang digunakan.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini adalah dapat merancang dan membuat sistem implementasi kontrol kecepatan motor pada sistem penekanan sampah rumah tangga.

1.5 Manfaat

Penelitian skripsi ini diharapkan mampu memberikan manfaat sekurang – kurangnya antara lain:

1. Bagi Peneliti

Sebagai implementasi ilmu yang didapatkan selama masa perkuliahan dan sarana belajar.

2. Bagi Pembaca

Sebagai sumber wawasan mengenai cara kerja dari Motor DC dan sistem pengendalinya.

3. Bagi Calon Peneliti

Sebagai bahan rujukan untuk digunakan pada penelitian yang akan datang mengenai pengendalian Motor DC.

1.6 Sistematika Pembahasan

Agar penyusunan laporan skripsi mencapai sasaran, maka diperlukan sistematika pembahasan yang jelas. Sistematika pembahasan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

Bab I: PENDAHULUAN

Bab ini memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika pembahasan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang dasar teori yang mendukung penelitian yang akan dilakukan dan mendukung permasalahan yang akan dibahas.

BAB III: METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang metode penelitian yang terdiri dari studi literatur, pengambilan data, analisis dan perhitungan, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

BAB IV: PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang pengujian alat dengan melihat keluaran sistem dengan cara mengubah nilai *setpoint*.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan pengambilan kesimpulan sesuai dengan hasil pengujian alat , serta pemberian saran untuk pengembangan alat.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini untuk mempermudah dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar – dasar dari perencanaan sistem yang dibuat, maka perlu adanya penjelasan dan uraian mengenai teori penunjang sebagai acuan dan pedoman dalam proses penyelesaian masalah yang ada pada pelaksanaan penelitian ini.

2.1 Motor DC

Motor DC merupakan motor listrik yang sangat sering di gunakan sebagai elemen kontrol akhir dalam sistem kontrol posisi dan kecepatan. Prinsip kerja motor DC sesuai dengan hukum Lorentz, apabila arus dialirkan melalui kumparan jangkar dari mesin DC dan kumparan medannya diberi penguatan, maka akan timbul Gaya Lorentz pada tiap sisi kumparan jangkar tersebut (Soemarwanto,2010)

Besar gaya Lorentz yang di timbulkan motor DC adalah

$$F = B \cdot I \cdot l \text{ dyne} \quad (2-1)$$

dengan:

B = kerapatan medan magnetik (Gauss).

I = arus listrik (Ampere).

l = panjang konduktor (cm).

Akibat timbulnya gaya lorentz, maka timbul kopel yang besarnya adalah:

$$\text{Kopel: } M = F \times r \text{ dyne-cm} \quad (2-2)$$

Di mana:

r = jari-jari jangkar (cm)

$$M = B \cdot I \cdot l \cdot r \text{ dyne-cm} \quad (2-3)$$

Apabila jumlah: $M = z \cdot B \cdot I \cdot l \cdot r \text{ dyne-cm}$

Karena $B = \frac{\phi}{A}$

di mana:

ϕ = fluksi tiap kutub (Maxwell)

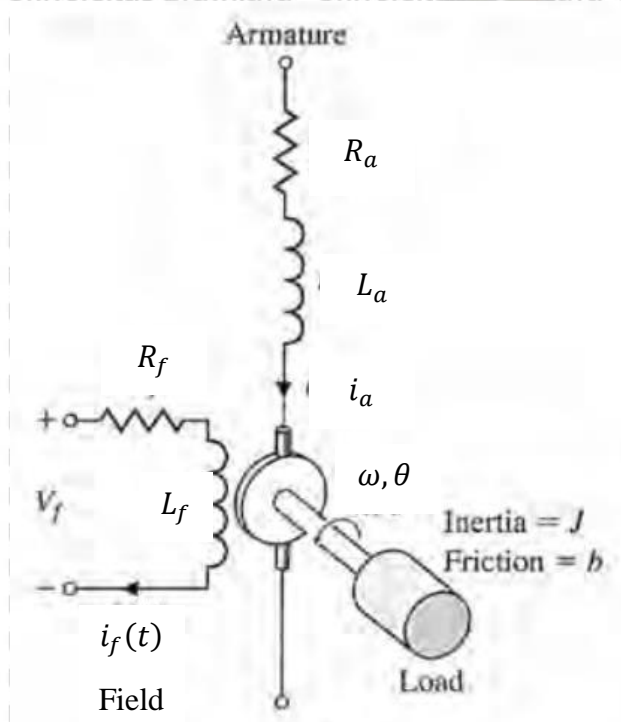
A = Luas penampang (cm^2)

z = jumlah konduktor di jangkar

maka: $M = z \cdot \frac{\phi}{A} \cdot I \cdot l \cdot r$

Motor *Direct Current* (DC) merupakan aktuator yang banyak digunakan dalam teknologi kontrol. Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Catu tegangan DC dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan dalam satu lilitan disebut *armature* (jangkar). *Armature* adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet.

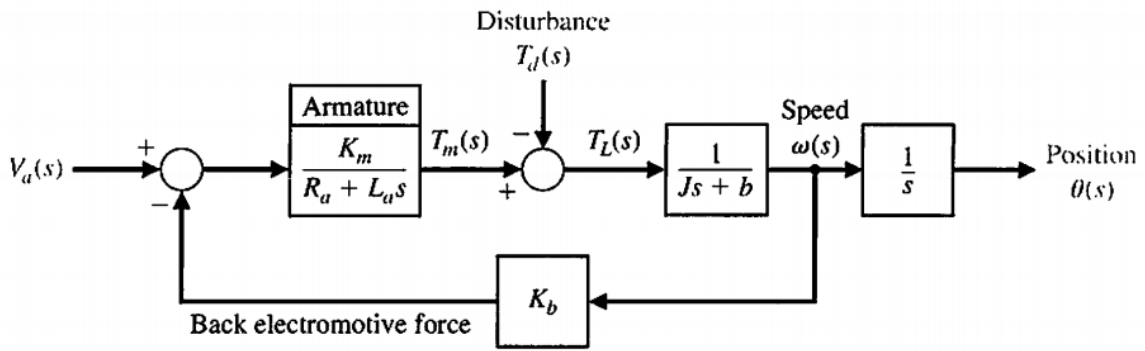
Rangkaian ekuivalen motor DC magnet permanen dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian ekuivalen motor DC magnet permanen

Sumber: Dorf, R. C. & Bishop, R. H., 2011

Pada motor DC magnet permanen, arus kumparan medan I_f dibuat konstan. Diagram blok pengontrolan kecepatan motor DC magnet permanen dapat dilihat dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram blok pengontrolan motor DC magnet permanen

Sumber: Dorf, R. C & Bishop, R. H., 2011

Apabila *disturbance* (gangguan) $T_d(s)=0$, maka fungsi alih motor DC adalah

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_m}{(R_a + L_a s)(J s + b) + (K_b K_m)}$$

dengan:

K_m = konstanta motor

K_b = konstanta *back electromotive force*

R_a = resistansi *armature*

L_a = resistansi *armature*

J = momen inersia

b = koefisien gesek

Salah satu jenis motor DC magnet permanen adalah motor DC PG45 seperti terlihat dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Motor DC PG45

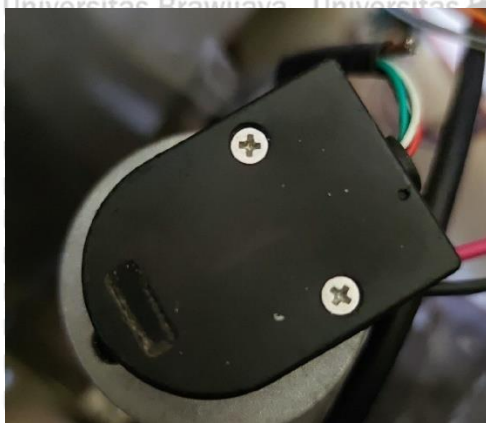
2.2 Rotary encoder

Rotary encoder adalah alat elektromekanik yang dapat memonitor gerakan dan posisi.

Rotary encoder umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang

dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah. Sehingga posisi sudut suatu poros benda berputar dapat diolah menjadi informasi berupa kode digital oleh *rotary encoder* untuk diteruskan oleh rangkaian kontrol. *Rotary encoder* umumnya digunakan pada pengontrolan robot, motor *driver*, dsb.

Sensor yang digunakan adalah *Incremental rotary encoder*. Sensor kecepatan digunakan untuk membaca kecepatan putar motor. Keluaran dari *Incremental rotary encoder* berupa pulsa yang kemudian akan dijadikan *input* untuk mikrokontroler. Bentuk fisik dari *rotary encoder* motor DC PG45 dapat dilihat dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rotary Encoder

Sumber: penulis

Resolusi pada *Incremental rotary encoder* yang digunakan adalah 200 P/R yaitu dalam satu kali putaran *Incremental rotary encoder* menghasilkan 200 pulsa. Waktu pencuplikan yang digunakan adalah 50 ms, sehingga kecepatan putar motor dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$rpm = \frac{n}{x} \times \frac{1000}{T} \times 60 \quad (2.4)$$

Dengan:

n = jumlah pulsa yang terbaca dalam satu kali rotasi

x = resolusi pulsa *rotary encoder*

T = waktu pencuplikan (ms)

2.3 Driver Motor BTS7960

Driver Motor BTS7960 digunakan sebagai pengendali motor DC. Secara garis besar, fungsi *driver* motor ini adalah untuk mengatur arah putaran dan kecepatan putar motor bergantung dari nilai tegangan yang dimasukkan pada masukan *driver* itu sendiri. *Driver*

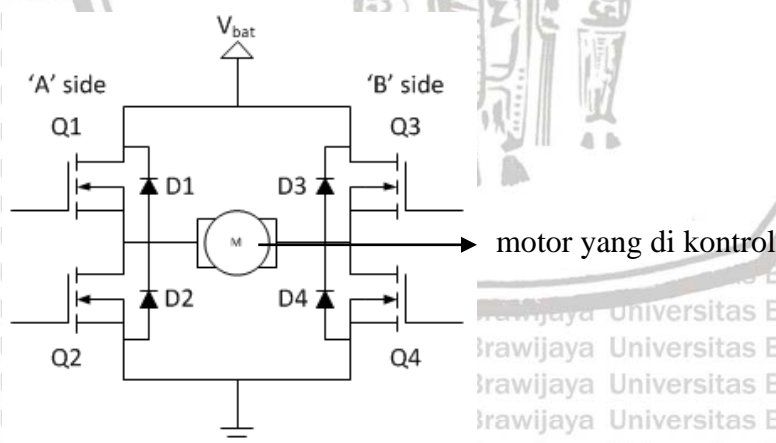
motor yang digunakan pada perancangan ini adalah *driver motor* BTS7960. *Driver motor* BTS7960 dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Driver Motor BTS7960

Driver motor DC ini dapat mengeluarkan arus hingga 43A, dengan memiliki fungsi PWM. Tegangan sumber DC yang dapat diberikan antara 5.5V - 27VDC, sedangkan tegangan *input level* antara 3.3V - 5 VDC, *driver motor* ini menggunakan rangkaian *full H-bridge* dengan IC BTS7960 dengan perlindungan saat terjadi panas dan arus berlebihan.

H-Bridge merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengatur arah pergerakan motor. Diberi nama rangkaian *H-Bridge* karena bentuk dari rangkaian yang menyerupai huruf H seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rangkaian H-Bridge

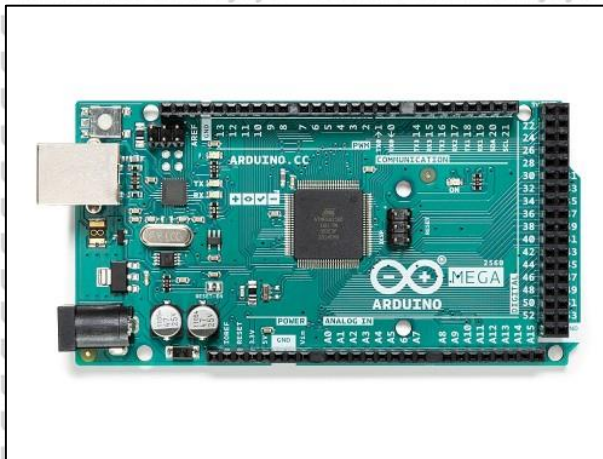
Sumber: Rahmat, A, 2019

Rangkaian ini terdiri dari dua buah MOSFET kanal P dan dua buah MOSFET kanal N. Prinsip kerja rangkaian ini adalah dengan mengatur mati-hidupnya ke empat MOSFET tersebut. Bagian atas rangkaian akan dihubungkan dengan sumber daya kutub positif, sedangkan bagian bawah rangkaian akan dihubungkan dengan sumber daya kutub negatif.

Pada saat MOSFET Q1 dan MOSFET Q4 *on* sedangkan MOSFET Q2 dan MOSFET Q3 *off*, maka sisi kiri dari gambar motor akan terhubung dengan kutub positif dari catu daya, sedangkan sisi sebelah kanan motor akan terhubung dengan kutub negatif dari catu daya sehingga motor akan bergerak searah jarum jam.

2.4 Mikrokontroler Arduino Mega2560

Arduino Mega2560 adalah *board* berbasis ATmega2560. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 dapat dilihat dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Arduino Mega2560

Board ini memiliki 54 *input/output* pin digital di mana 15 pin tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM, 16 *input* analog 4 UARTs (*hardware serial ports*), 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, Power Jack, ICSP header dan tombol reset. Spesifikasi dari mikrokontroler Arduino Mega2560 dapat dilihat dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Spesifikasi Mikrokontroler Arduino Mega2560

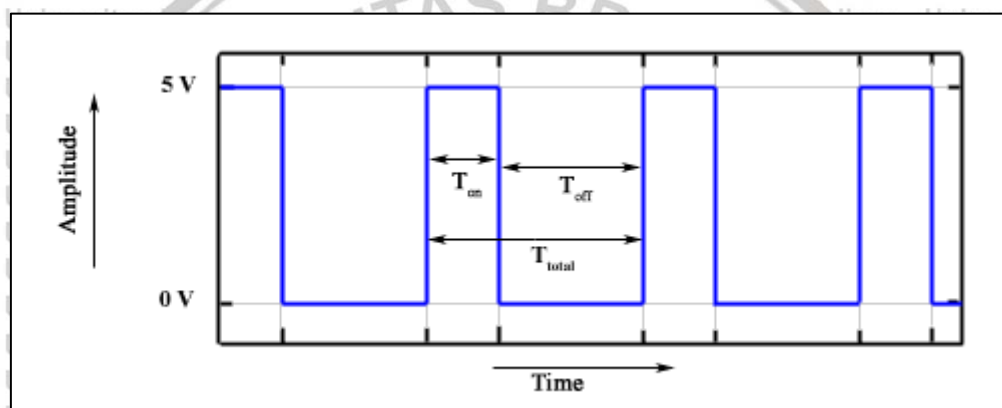
Sumber : <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13

Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

2.5 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah sebuah teknik modulasi dengan cara memanipulasi lebar pulsa dengan frekuensi dan amplitudo yang sama untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. PWM digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC. Kecepatan motor DC bergantung pada besarnya *duty cycle* yang diberikan. Sinyal PWM memiliki amplitudo dan frekuensi yang tetap namun memiliki lebar pulsa / *duty cycle* yang bervariasi antara 0% hingga 100%. *Duty cycle* merupakan perbandingan antara pulsa positif terhadap total pulsa yang dinyatakan dalam persen. *Duty cycle* pada sinyal PWM dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Duty Cycle pada sinyal PWM
Sumber: tutorialspoint.com

2.6 Kontroler

Kontroler adalah sebuah sub sistem dinamis yang dimasukkan ke dalam suatu sistem untuk memanipulasi suatu persamaan matematis sebuah *plant*. Secara umum kontroler juga dikenal dengan istilah kompensator, pengendali (Ogata, 2010).

Salah satu fungsi kontroler adalah mengurangi eror yang merupakan selisih antara nilai *setpoint* dengan keluaran *plant*. *Setpoint* adalah nilai referensi atau nilai yang diinginkan, sedangkan keluaran *plant* adalah nilai aktual yang terukur pada keluaran *plant*. Semakin kecil nilai eror maka kinerja sistem kontrol dinilai semakin baik.

Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai keluaran *plant* dengan nilai *setpoint*, menentukan nilai eror dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan *error* (Ogata, 2010).

2.6.1 Kontroler Proporsional

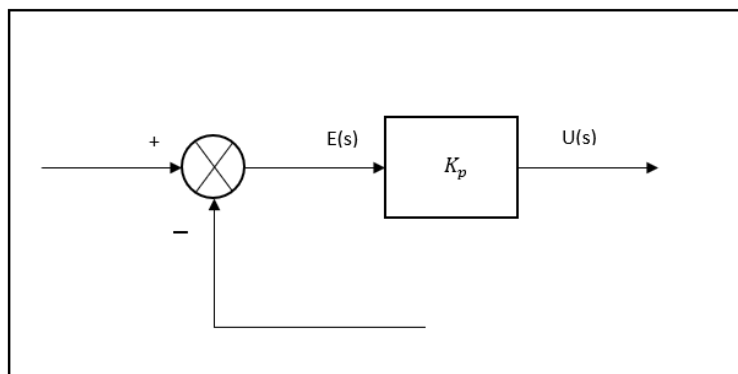
Kontroler proporsional adalah sebuah kontroler yang memiliki karakteristik mempercepat keluaran. Hubungan antara keluaran kontroler $u(t)$ dan sinyal *error* $e(t)$ ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2-3)$$

atau, dalam fungsi alih

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

di mana K_p adalah penguatan. Gain K_p mewakili respons *output* rasio terhadap sinyal *error*. Gain proporsional meningkatkan frekuensi alami sistem yang tidak teredam, yang berarti bahwa kecepatan sistem akan meningkat dan juga mengurangi rasio redaman sistem, yang mengarah pada peningkatan *overshoot* sistem (Ashwaq, 2016). Diagram blok kontrol proporsional (P) ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Sumber: Ogata K., 2010

Apa pun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apa pun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K., 2010).

2.6.2 Kontroler Integral

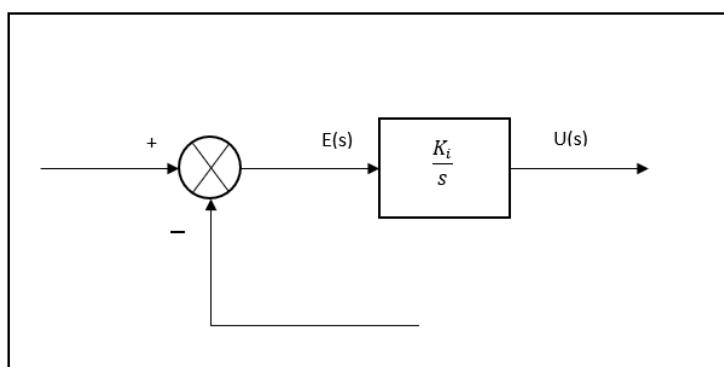
Kontroler *integral* memiliki kemampuan untuk mengurangi *error* yang diakibatkan oleh kontroler proporsional. Keluaran kontroler $u(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan *error* $e(t)$. Persamaan kontroler integral (I) ditunjukkan dalam persamaan berikut (Ogata K., 2010).

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t)$$

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (2-4)$$

yang merupakan fungsi alih kontroler integral (I), dengan K_i adalah konstanta integral yang dapat diubah nilainya. Jika $e(t)$ bernilai nol, maka nilai $m(t)$ tetap konstan. Aksi kontrol integral biasa disebut dengan kontrol reset. Gambar 2.10 menunjukkan diagram blok kontroler integral (I).



Gambar 2.10 Diagram blok kontroler Integral

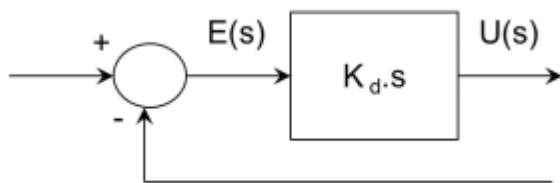
Sumber: Ogata K., 2010

2.6.3 Kontrol Derivatif

Parameter derivatif memiliki sinyal keluaran yang sebanding dengan perubahan *error*. Semakin cepat *error* berubah, semakin besar aksi kontrol yang ditimbulkan.

Karena sinyal berupa turunan maka pada saat peralihan nilai sinyal *error* akan menyebabkan respons impuls sebagai respons kontrolnya. Pada implementasinya, derivatif ini tidak pernah berdiri sendiri, dikarenakan saat *error* tidak berubah (statis),

maka derivatif tidak akan beraksi. Berikut ini merupakan diagram blok kontroler Derivatif ditampilkan pada gambar 2.11:



Gambar 2.11 Blok Diagram Kontroler Derivatif

Persamaan kontroler Derivatif dalam Laplace adalah sebagai berikut:

$$U(s).E(s) = K_d.s$$

Parameter derivatif dapat menambah kestabilan sistem karena bersifat responsif terhadap perubahan *error*. Selain itu, parameter derivatif juga dapat memberikan efek redaman pada sistem yang berosilasi, sehingga bisa memperbesar pemberian nilai K_p .

2.6.4 Kontroler PID (Proporsional Integral Derivatif)

Kontroler proporsional integral derivatif (PID) memiliki kemampuan untuk mempercepat keluaran dan mengurangi *error*. Kontroler ini digunakan pada sistem yang perlu ditingkatkan baik respons transien maupun respons *steady state*. Kebanyakan sistem kontrol praktis menggunakan gain derivatif yang sangat kecil, karena gain ini membuat respons sangat sensitif terhadap *noise* (Ashwaq, 2016).

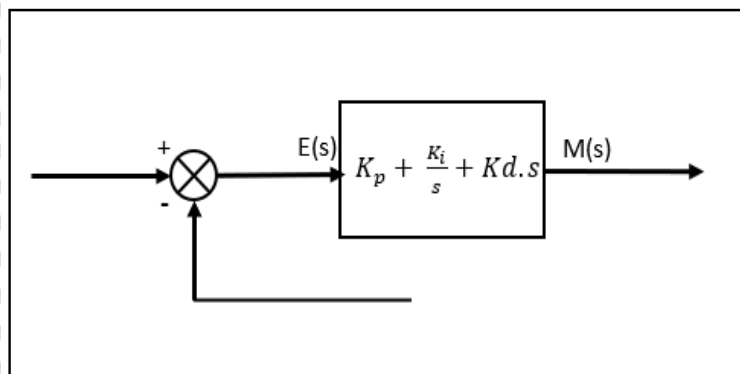
Persamaan kontroler proporsional integral derivatif (PID) adalah

$$u(t) = K_p.e(t) + K_i.\int_0^t e(t)dt + K_d.\frac{de(t)}{dt} \quad (2-5)$$

Adapun fungsi alihnya adalah

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d.s \quad (2-6)$$

Gambar 2.12 menunjukkan diagram blok kontroler proporsional integral derivatif (PID).



Gambar 2.12 Diagram blok kontroler PID (Proporsional Integral Derivatif)

Sumber: Yudaningtyas, 2017

Untuk *tuning* PID secara manual dapat dilihat Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Penentuan parameter PID dengan metode *hand tuning*

Sumber : Ashwaq, 2016

Parameter	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Error
Kp	Berkurang	Bertambah	Sedikit berubah	Berkurang
Ki	Berkurang	Bertambah	Bertambah	Dihilangkan
Kd	Sedikit berubah	Berkurang	Berkurang	Sedikit berubah

2.7 Metode Hand Tuning atau Trial and Error

Kontroler PID dapat di *tuning* dalam beberapa cara, antara lain *loop tuning*, metode analitis, optimisasi, *pole placement*, *auto tuning* dan *hand tuning* (Smith,1979; Astrom & Hagglund,1995). Pada skripsi ini digunakan cara *hand tuning* untuk menentukan besar Kp, Ki, dan Kd. Hal ini dilakukan karena ada kendala untuk melakukan cara lain yang telah disebutkan di atas. Kendala tersebut adalah tidak adanya model matematis dari motor sehingga membuat cara analitis sulit untuk dilakukan.

Menurut Smith (1979), untuk melakukan *hand tuning* prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Melepaskan kontroler integral dan diferensial dengan memberikan nilai $K_i = 0$ dan $K_d = 0$.
2. Mengatur nilai KP hingga didapatkan respons yang diinginkan, dengan mengabaikan *offset* dari *setpoint*.
3. Dengan terus menaikkan nilai Kp, nilai dari Kd dinaikkan untuk mengurangi *overshoot* yang terjadi.
4. Naikkan nilai Ki untuk mengurangi *offset*.

Keuntungan dari *hand tuning* adalah prosedur di atas dapat dilakukan dengan segera, *online* dan dapat melihat dengan cepat respons sistem setelah perubahan Kp, Ki, dan Kd. Kerugian dari cara ini adalah untuk melihat apakah *setting* akhir dari kontroler merupakan nilai optimal atau tidak (Jantzen, 2001).

2.8 Pengambilan Data Input - Output

Pengujian ini memerlukan sinyal uji tertentu yang akan diberikan kepada sistem yang akan diidentifikasi. Untuk mendapatkan model yang tepat, maka pemilihan sinyal uji tidak boleh sembarangan. Untuk syarat pemilihannya adalah suatu sinyal uji harus memiliki cakupan frekuensi yang lebar dan standar yang digunakan adalah sinyal *Pseudo Random Binary Sequences (PRBS)*.

Pseudo Random Binary Sequences (PRBS) adalah sinyal kotak yang termulasi dan berlangsung secara sekuensial. Sinyal ini biasanya dibangkitkan menggunakan *Linear Feedback Shift Register (LFSR)*. Pada LFSR memiliki 2 parameter dasar yang menentukan sifat sekuensial yang dihasilkan, yaitu panjang dari *shift register* dan susunan umpan balik. PRBS memiliki variasi panjang sekuensialnya, tergantung dari panjangnya *shift register* ditunjukkan pada tabel 2.5

Tabel 2.3 Variasi panjang sekuensial PRBS

Panjang Register (N)	Panjang Sekuensial ($2^N - 1$)	Posisi Tap Umpan Balik
2	3	1 dan 2
3	7	1 dan 3
4	15	3 dan 4
5	31	3 dan 5
6	63	5 dan 6
7	127	4 dan 7
8	255	2, 3, 4, dan 8
9	511	5 dan 9
10	1023	7 dan 10

Sinyal Uji PRBS mempunyai panjang sekuensial yang berbeda yang ditunjukkan pada Tabel 2.4. Pada penelitian ini digunakan sinyal uji dengan jumlah 8 bit, sesuai dengan Tabel 2.4, panjang sekuensial sinyal uji PRBS adalah 255 bit untuk sekali proses pengujian. Untuk periode *sampling* pengambilan data oleh mikrokontroler, dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.4 Periode sampling data berdasarkan tipe *plant*

Jenis Plant	Periode Sampling (s)
Tingkat Aliran	1-3
Level	5 - 10
Tekanan	1 - 5
Suhu	10 - 180
Distilasi	10 - 180
Mekanisme Servo	0,001 - 0,05
Katalis Reaktor	10 - 45
Proses Semen	20 - 45
Pengering	20 -45

Berdasarkan tabel 2.6 untuk penelitian ini berdasarkan jenis *plant*, *plant* yang digunakan adalah Motor DC yang termasuk pada jenis *plant* mekanisme servo, dan periode sampling yang digunakan adalah 0,05 detik atau 50 ms.



Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB III

METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian maka diperlukan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan dapat diuraikan adalah sebagai berikut:

1. Merancang blok diagram dari sistem
2. Spesifikasi desain
3. Karakterisasi setiap sub sistem
4. Pembuatan perangkat keras
5. Pembuatan algoritma dan program
6. Pengujian alat
7. Pengambilan kesimpulan dan saran

Penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah pengembangan dari penelitian *Capstone Design Project* yang berjudul “*Smart Trash Compactor* pada Rumah Tangga”. *Smart Trash Compactor* pada Rumah Tangga adalah sebuah alat yang memiliki fungsi sebagai tempat sampah yang bisa melakukan proses *compacting* secara otomatis maupun manual sesuai keinginan pengguna, dan memiliki beberapa fitur keamanan. Proses *compacting* dilakukan dengan tujuan untuk memadatkan sampah sehingga tempat sampah bisa diisi kembali secara terus menerus sehingga dapat mengoptimalkan volume sampah yang dibuang, jenis sampah pada alat ini di khususkan untuk jenis sampah hasil rumah tangga.

Smart Trash Compactor pada Rumah Tangga di bagi menjadi beberapa sub sistem :

1. Sub sistem Antarmuka

Sub sistem Antarmuka berfungsi sebagai sarana komunikasi antara pengguna dengan alat.

2. Sub sistem Motor Servo

Sub sistem Motor Servo sebagai sistem yang dapat membuka tempat masuk atau pembuangan sampah secara otomatis ketika mendeteksi tangan yang terhubung dengan sensor dan servo sebagai penggerak.

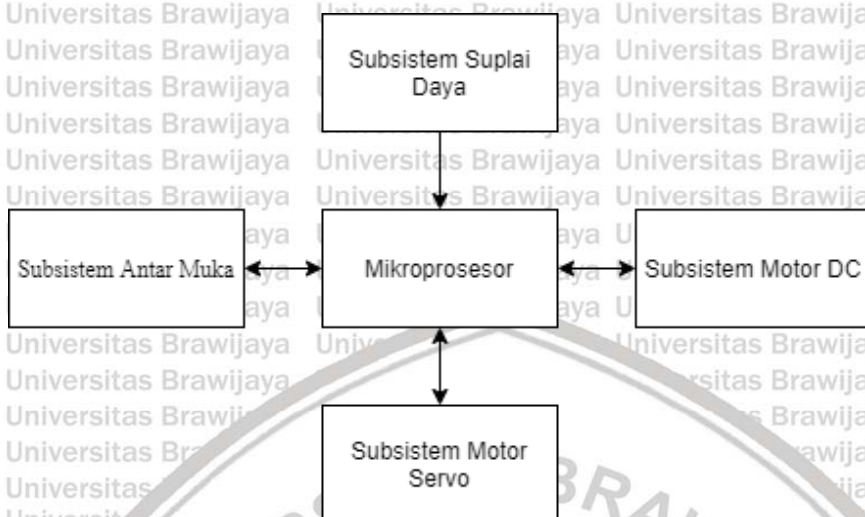
3. Sub sistem Suplai Daya

Sub sistem suplai daya berfungsi sebagai distribusi daya kepada setiap komponen-komponen listrik yang terdapat pada alat.

4. Sub sistem Motor DC

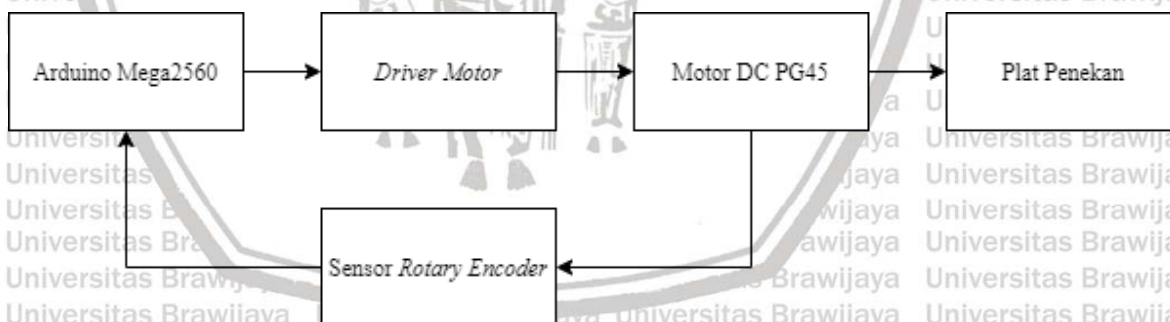
Sub sistem motor DC mengatur proses *compacting* pada alat dan mengatur pergerakan dari motor DC.

Diagram hubungan antara sub sistem dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram hubungan antar sub sistem

Gambar 3.1 menunjukkan hubungan antar sub sistem antar satu sama lain. Pada penelitian ini penulis memfokuskan penelitian pada sub sistem motor DC, yaitu pengendalian kecepatan motor DC untuk melakukan proses *compacting* atau pemadatan sampah. Diagram sub sistem motor dc dapat dilihat pada gambar 3.2.

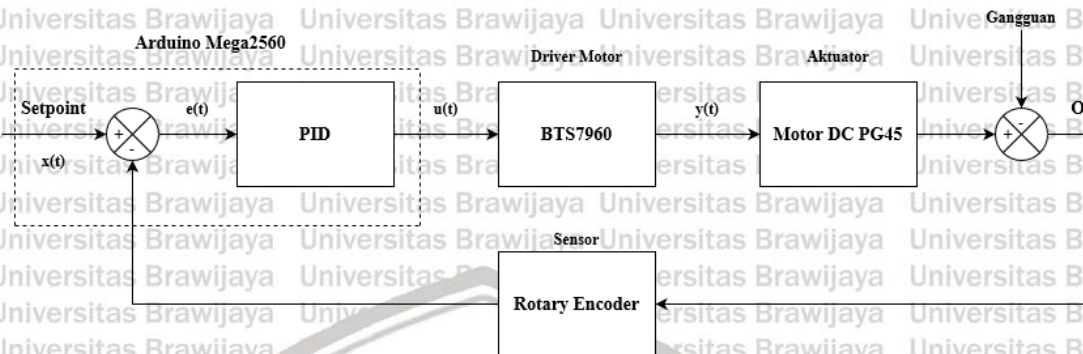


Gambar 3.2 Diagram tingkat kedua sub sistem motor DC

Gambar 3.2 menunjukkan komponen-komponen dan hubungannya yang terdapat pada sub sistem motor DC. Untuk prinsip kerja alat dijelaskan lebih lanjut pada subbab 3.7.3.

3.1 Perancangan Blok Diagram Sistem

Perancangan diagram blok sistem menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi desain. Blok diagram sistem kontrol kecepatan dapat dilihat dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem

Keterangan:

1. $x(t)$ merupakan *setpoint* (nilai masukan sistem yang diinginkan pada keluaran sistem) dalam pengujian ini berupa kecepatan putar motor (RPM).
2. $e(t)$ adalah nilai selisih antara *setpoint* dengan keluaran.
3. $u(t)$ adalah sinyal terkontrol 0-5 V (Volt).
4. $y(t)$ adalah tegangan terkontrol 0-24 V (Volt) .
5. $x'(t)$ adalah keluaran aktual motor yaitu kecepatan putar motor (RPM).

3.2 Spesifikasi Desain

Spesifikasi desain yang diinginkan yaitu:

1. Kontroler yang digunakan adalah kontroler PID.
2. Arduino Mega2560 sebagai mikrokontroler.
3. Pemrograman menggunakan *software* Arduino IDE.
4. *Settling time* dibawah 1 detik, karena pada sistem diharapkan dengan menggunakan kontroler PID keluaran motor DC PG45 dapat mencapai kecepatan yang diinginkan dengan cepat.
5. *Error steady state* (e_{ss}) kurang dari 5%.
6. Dengan adanya kontroler PID, sistem didesain untuk overshoot tidak lebih dari 5%.

3.3 Karakterisasi Motor DC

Karakterisasi Motor DC bertujuan untuk mengetahui karakteristik motor DC dengan perubahan tegangan masukan yang diberikan terhadap kecepatan putar motor DC. Tegangan

0 – 24 V diberikan ke motor DC untuk melihat perubahan kecepatan motor DC. Peralatan yang dibutuhkan yaitu:

1. Motor DC PG45.
2. Sensor *Rotary Encoder*.
3. *Power Supply* 24V.
4. Voltmeter digital.

Setelah peralatan disiapkan, maka selanjutnya melakukan prosedur pengujian yang terdiri dari :

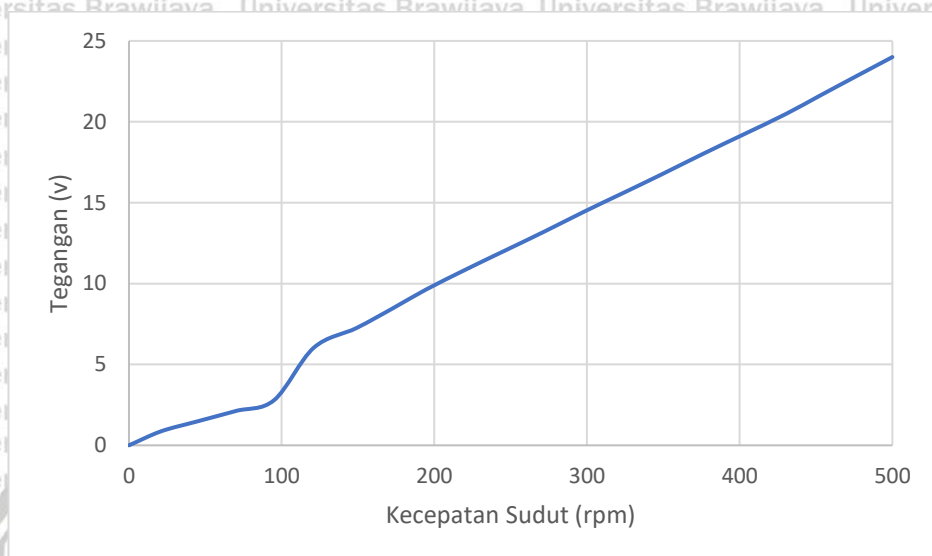
1. *Power supply* 24V dihubungkan ke VCC dan GND Motor DC PG45.
2. Nilai tegangan di atur dari 0 – 24 V.
3. Kecepatan motor DC diukur menggunakan sensor *rotary encoder*.

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan nilai kecepatan motor DC seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

Tegangan (v)	Kecepatan Sudut (rpm)
0	0
0,865	21
1,461	44
2,122	70
2,789	95
6,03	121
7,25	149
8,48	173
9,6	194
10,84	220
11,98	245
13,21	272
14,44	298
15,66	325
16,8	350
18,02	376
19,24	403
20,47	430
21,59	452
22,8	476
24	500

Tabel 3.1 Data pengujian motor DC

Tabel di atas merupakan keluaran motor DC yang diberi masukan tegangan sebesar 0 – 24 V dan perubahan kecepatan dibaca menggunakan sensor *rotary encoder*. Dari tabel di atas didapatkan kecepatan putar motor dengan tegangan maksimal 24 V sebesar 500 RPM. Dari tabel di atas agar mempermudah melihat hasil pembacaan sensor maka dibuatlah kurva kecepatan motor (RPM) terhadap tegangan yang dapat dilihat dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pengujian motor DC

Dari pengujian ini bisa dilihat bahwa kecepatan motor berubah dengan nilai yang cukup linier pada tegangan 6 – 24 V. Berdasarkan gambar 3.4 maka ditentukan lingkup operasi kerja sistem yang dirancang berada pada nilai yang linier yaitu pada nilai tegangan 6 – 24 V.

3.4 Karakteristik *Driver* Motor

Untuk mengetahui karakteristik tegangan keluaran efektif dari *driver* motor BTS7960 terhadap masukan berupa *duty cycle* sinyal PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler Arduino Mega2560. Perlu dilakukan percobaan dengan cara mengubah nilai *duty cycle* dengan rentang 0 – 100 % atau pada arduino dengan rentang nilai 0 – 255 pwm yang diberikan kepada *driver* motor, untuk melihat perubahan kecepatan pada motor DC, dan tegangan yang dihasilkan. Peralatan yang digunakan :

1. *Driver* motor BTS7960.
2. *Power Supply* 24V.
3. Mikrokontroler Arduino Mega2560.
4. Voltmeter Digital.
5. Laptop.

6. *Software* Arduino IDE.

Setelah peralatan disiapkan, maka selanjutnya melakukan prosedur pengujian yang terdiri dari :

1. Pin VCC, GND, R_PWM, L_PWM, R_EN, dan L_EN pada *driver motor* dihubungkan ke mikrokontroler Arduino Mega2560
2. Driver motor BTS7960 B+ dan B- dihubungkan dengan *power supply* 24V
3. Nilai PWM diubah pada *software* Arduino IDE dengan rentang 0 – 255 PWM
4. Tegangan keluaran pada pin M+ dan M- *driver motor* diukur sesuai dengan nilai PWM
5. Tegangan keluaran driver motor dicatat dalam Tabel 3.2

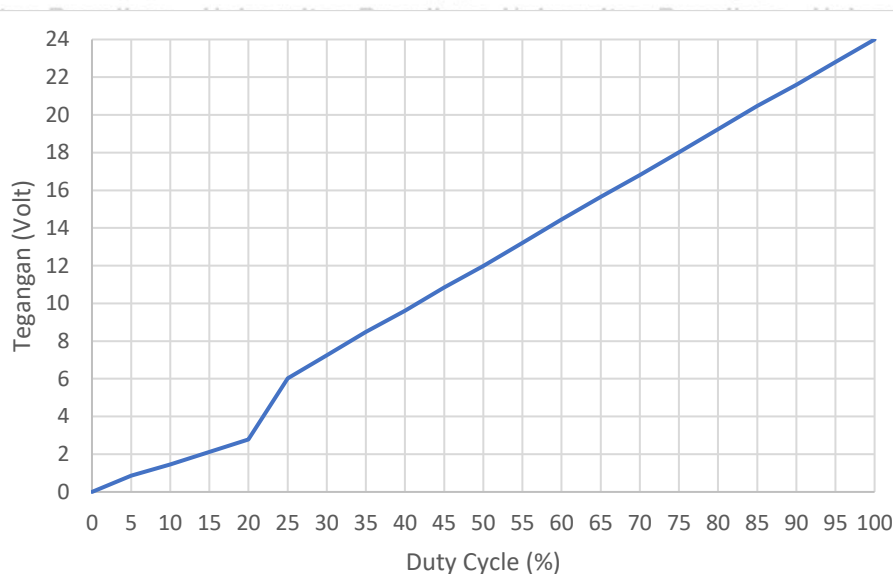
Data pengujian tegangan keluaran pada driver motor dapat dilihat dalam Tabel 3.2

Duty Cycle (%)	PWM	Kecepatan Sudut (rpm)	Tegangan (V)
0	0	0	0
5	13	21	0,865
10	25	44	1,461
15	38	70	2,122
20	51	95	2,789
25	64	121	6,03
30	77	149	7,25
35	90	173	8,48
40	102	194	9,6
45	115	220	10,84
50	127	245	11,98
55	140	272	13,21
60	153	298	14,44
65	166	325	15,66
70	178	350	16,8
75	191	376	18,02
80	204	403	19,24
85	217	430	20,47
90	229	452	21,59
95	242	476	22,8
100	255	500	24

Tabel 3.2 Data pengujian driver motor

Tabel di atas merupakan hasil dari pengujian *driver* BTS7960 dengan masukan berupa nilai *duty cycle* yang diberikan oleh mikrokontroler ke motor *driver*. Dari Tabel tersebut maka digambarkan kurva tegangan terhadap *duty cycle* yang dapat dilihat dalam Gambar

3.5.



Gambar 3.5 Grafik pengujian motor driver

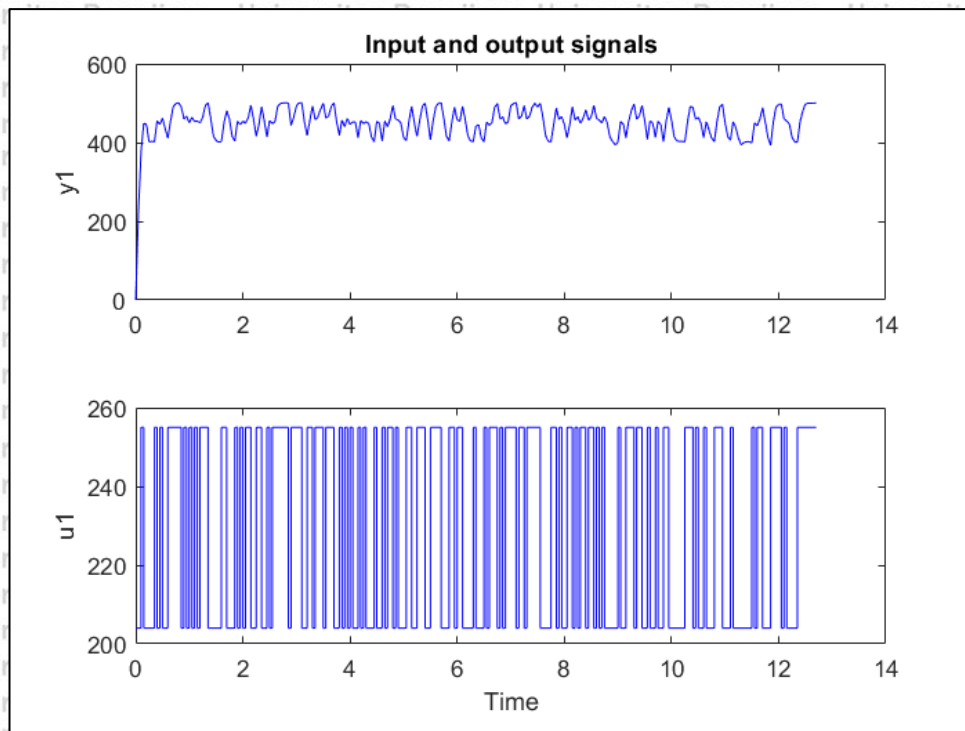
Gambar 3.5 Menunjukkan hubungan antara tegangan dengan *duty cycle* berbanding lurus pada rentang 25 – 100 %.

3.5 Penentuan Fungsi Alih Motor DC

Motor DC yang digunakan dalam penelitian ini masih belum diketahui fungsi alihnya. Fungsi alih akan digunakan untuk menentukan parameter dari kontroler PID pada kontrol kecepatan motor DC sehingga perlu dicari fungsi alih dari motor DC. Karakteristik motor DC didapatkan dengan cara memberikan masukan unit step. Fungsi alih akan didapatkan dari pemodelan dengan cara mencari keluaran dari motor yang diberi masukan berupa sinyal PRBS.

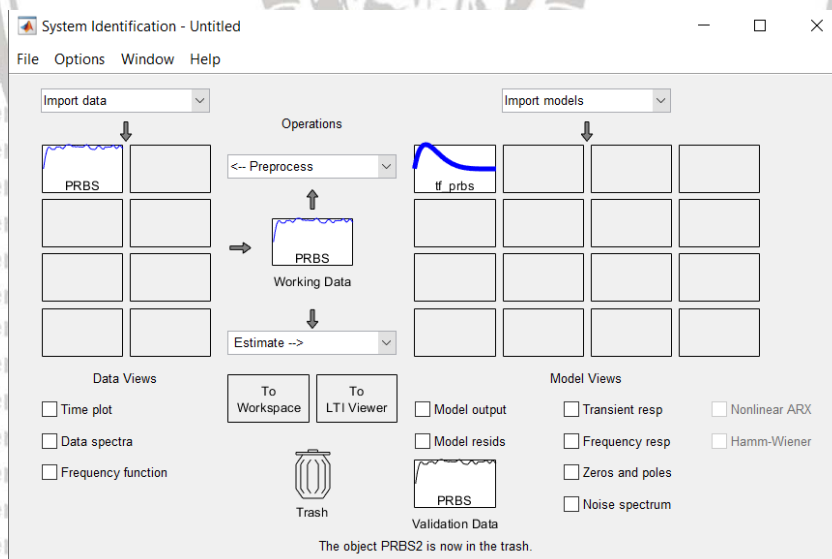
Langkah-langkah yang dilakukan untuk menentukan fungsi alih dengan membangkitkan sinyal PRBS adalah sebagai berikut: (Rahmat, A, 2019)

1. Mencari nilai yang linier dari hasil kecepatan motor terhadap *duty cycle* PWM.
2. Memasukkan nilai batas atas dan batas bawah berdasarkan nilai yang linier untuk membangkitkan sinyal PRBS.
3. Sinyal PRBS yang telah dibangkitkan kemudian digunakan sebagai masukan motor DC dengan waktu sampling 50 ms.
4. Setelah didapatkan data pengujian sinyal PRBS dan kecepatan motor DC, selanjutnya adalah melakukan identifikasi dengan menggunakan *software* matlab seperti dalam Gambar 3.6.



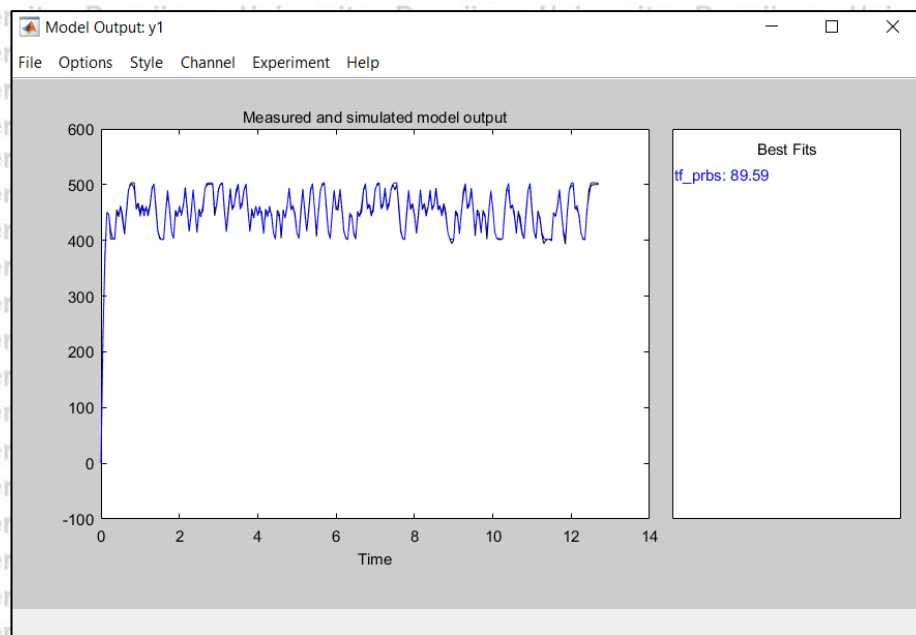
Gambar 3.6 Sinyal masukan PRBS dan keluaran motor DC

5. Data keluaran dari motor yang didapatkan dari masukan berupa sinyal PRBS dan data kecepatan motor DC. Kemudian di-import pada *block System Identification Toolbox* seperti dalam Gambar 3.7.



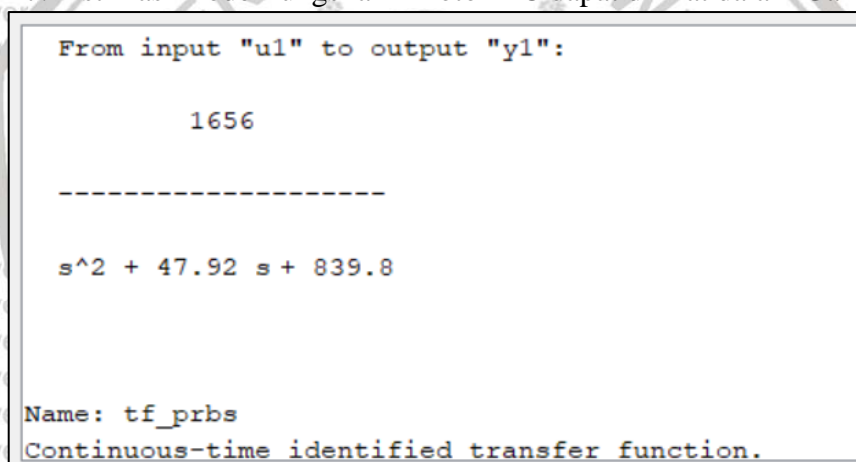
Gambar 3.7 System Identification Toolbox Matlab

6. Setelah melakukan beberapa estimasi model berdasarkan data yang telah didapatkan dari data yang telah di-import, didapatkan fungsi alih motor DC dengan *best fits* sebesar 89.59 % seperti dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Hasil estimasi model

7. Estimasi model fungsi alih motor DC dapat dilihat dalam Gambar 3.9



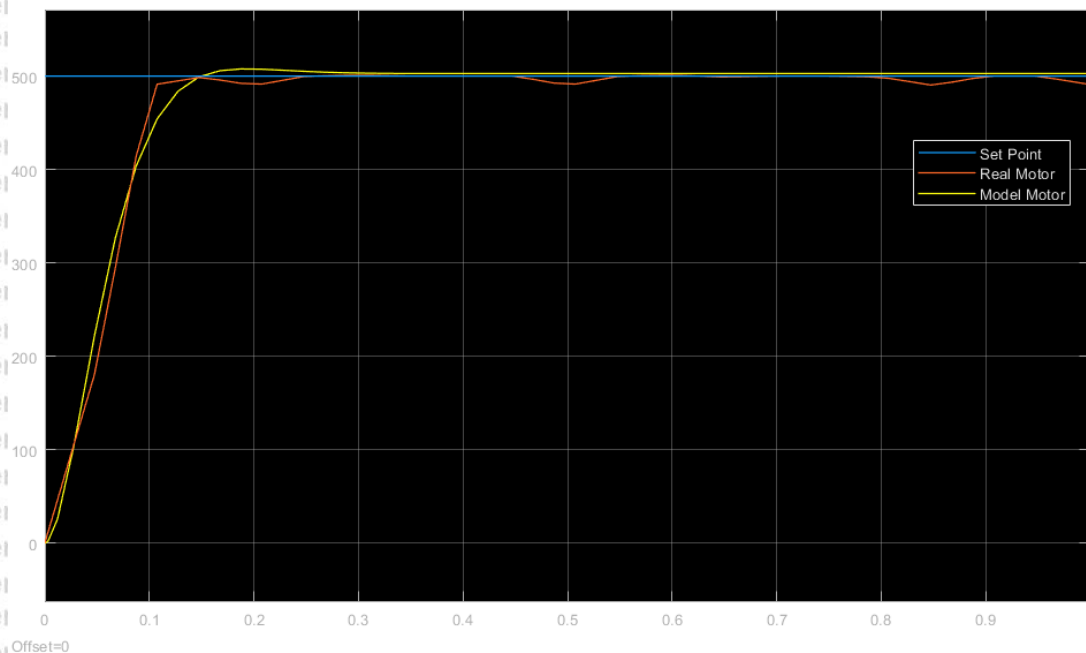
Gambar 3.9 Estimasi model fungsi alih motor DC

8. Dari hasil identifikasi fungsi alih motor DC yang didapat adalah:

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{1656}{s^2 + 47,92 s + 839,8} \quad (3-1)$$

Setelah didapatkan fungsi alih maka fungsi alih harus divalidasi karena suatu fungsi alih dapat dikatakan mewakili *plant* apabila keluaran fungsi alih yang diperoleh dari proses identifikasi hampir menyerupai keluaran *plant*. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan nilai keluaran fungsi alih dan nilai dari kecepatan motor DC dari pembacaan sensor kecepatan yaitu *rotary encoder* sebagai proses validasi. Proses ini dilakukan dengan memberikan masukan unit step pwm 255 atau *duty cycle* 100 %

yaitu kecepatan sebesar 500 *Rotation Per Minute* (RPM). Keluaran motor DC ditunjukkan dalam Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Validasi fungsi alih motor DC

3.6 Penentuan Parameter Kontroler PID

Penentuan parameter kontroler PID yang digunakan adalah dengan menggunakan metode *Hand Tuning* atau *Trial and Error*. Langkah-langkah dalam penentuan parameter kontroler adalah sebagai berikut:

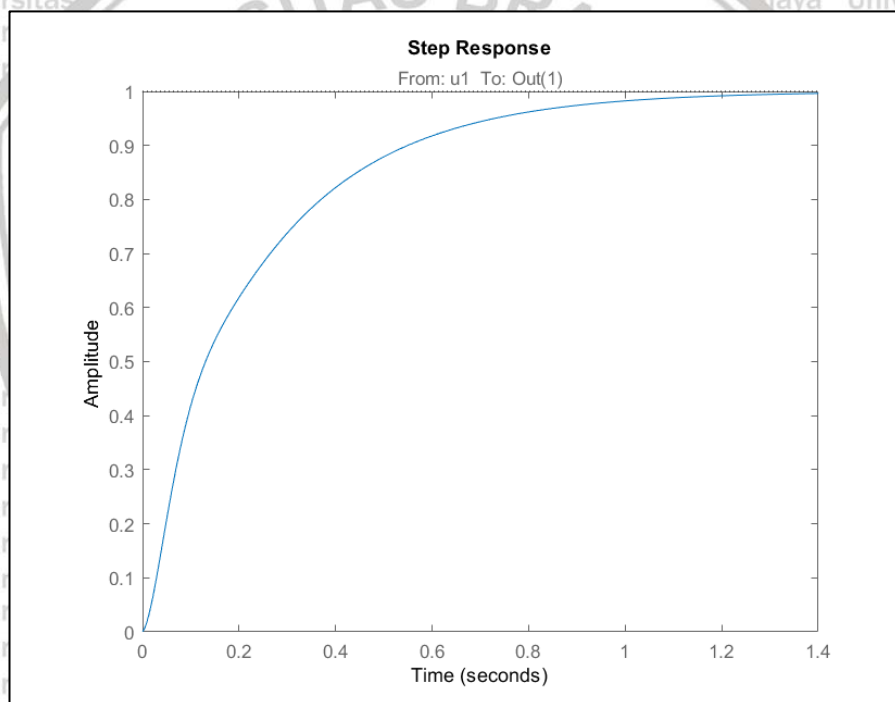
1. Mencari fungsi alih sistem, pada penelitian ini digunakan identifikasi dengan membangkitkan sinyal PRBS (*Pseudo Random Binary Sequence*).
2. Setelah didapatkan fungsi alih, dilakukan validasi fungsi alih terhadap respons real dari *plant*.
3. Melakukan simulasi *Hand Tuning* menggunakan aplikasi matlab untuk menentukan parameter kontroler hingga didapatkan respons yang diharapkan dengan menggunakan fungsi alih yang sudah didapatkan.

Tuning eksperimen adalah proses yang dilakukan untuk mendapatkan hasil kontroler yang optimal dengan cara suatu percobaan. Inti dari *tuning* eksperimen ini adalah menentukan nilai parameter yang terdapat pada kontroler PID, yaitu konstanta proporsional (K_p), dan konstanta integral (K_i).

Menurut Smith (1979), untuk melakukan *hand tuning* prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Melepaskan kontroler integral dan diferensial dengan memberikan nilai $K_i = 0$ dan $K_d = 0$.
2. Mengatur nilai K_p hingga didapatkan respons yang diinginkan, dengan mengabaikan offset dari setpoint.
3. Dengan terus menaikkan nilai K_p , nilai dari K_d dinaikkan untuk mengurangi *overshoot* yang terjadi.
4. Naikkan nilai K_i untuk mengurangi *offset*.

Dengan menggunakan metode *hand tuning* nilai parameter PID perlu diubah-ubah secara *trial and error* agar respons yang diperoleh sesuai dengan harapan. Setelah melakukan proses *tuning* secara manual di dapatkan nilai $K_p = 0,116$ dan $K_i = 2,245$ dan $K_d = 0,015$. Dengan memberikan masukan *unit step* didapatkan respons keluaran sistem yang dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Keluaran sistem dengan nilai $K_p = 0,116$, $K_i = 2,245$ dan $K_d = 0,015$

Respons sistem ketika menggunakan parameter *hand tuning* ditunjukkan pada Gambar 3.11, didapatkan nilai *settling time* sebesar 0,967 detik dan *rise time* sebesar 0,521 detik serta tidak terjadi *overshoot* dan telah memenuhi spesifikasi desain yang telah ditentukan.

3.7 Pembuatan Perangkat Keras

Perangkat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat yang digunakan pada penelitian *Capstone Design Project* berjudul “*Smart Trash Compactor* pada Rumah Tangga” Alat ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Panjang: 40 cm
- Lebar: 40 cm
- Tinggi: 100 cm
- Kapasitas Sampah : 20 L

Bentuk alat ini ditunjukkan pada Gambar 3.12, Gambar 3.13, Gambar 3.14, Gambar 3.15, dan Gambar 3.16.



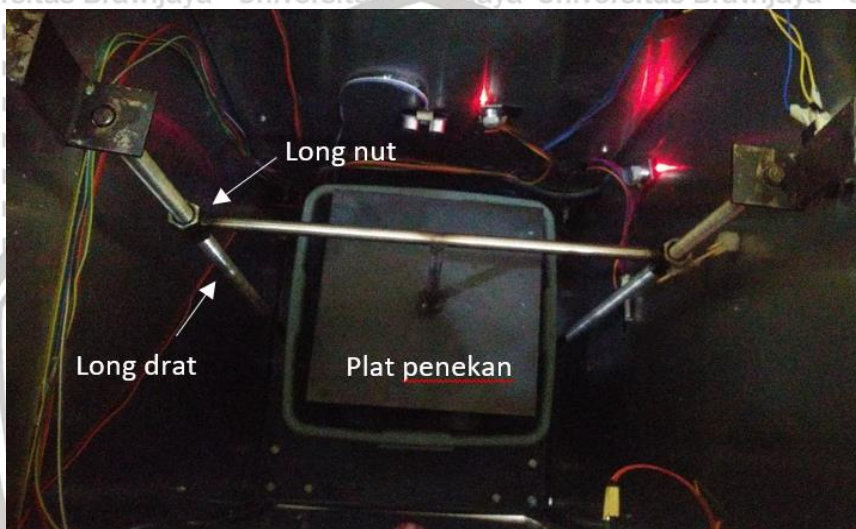
Gambar 3.12 Bentuk fisik alat



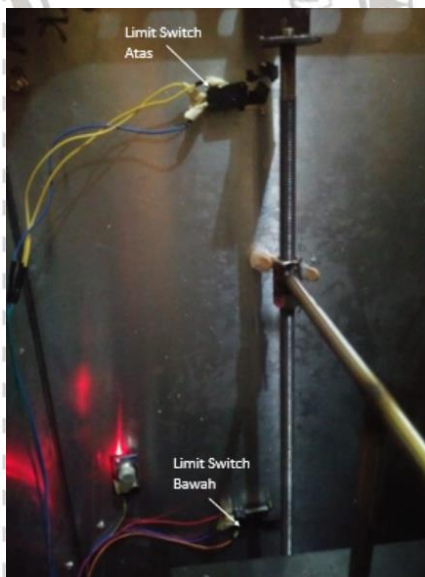
Gambar 3.13 Motor DC yang terhubung dengan rotary encoder



Gambar 3.14 Shaft motor DC terhubung dengan gear dan rantai



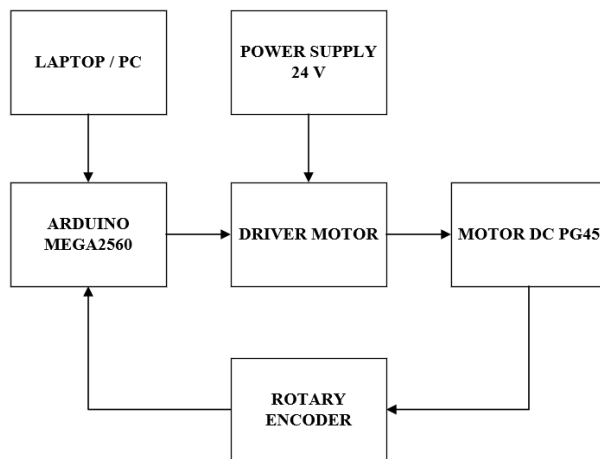
Gambar 3.15 Plat penekan terhubung dengan ulir dan rantai



Gambar 3.16 Peletakan limit switch

3.7.1 Skema Pembuatan Perangkat Keras

Skema pembuatan perangkat keras ditujukan untuk membuat penempatan dalam menyambungkan komponen untuk mengurangi *error* pemasangan. Gambar skema pembuatan perangkat keras dapat dilihat pada gambar 3.17.

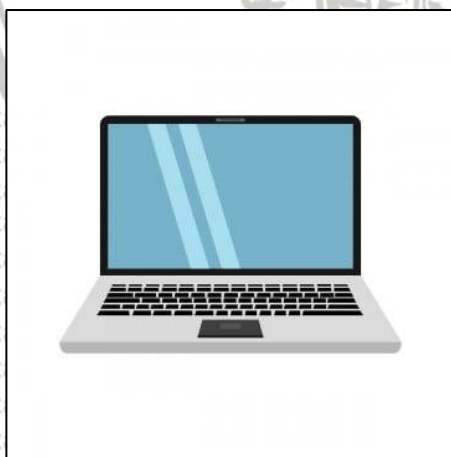


Gambar 3.17 Diagram hubungan antar perangkat keras

3.7.2 Penentuan Modul Elektrik

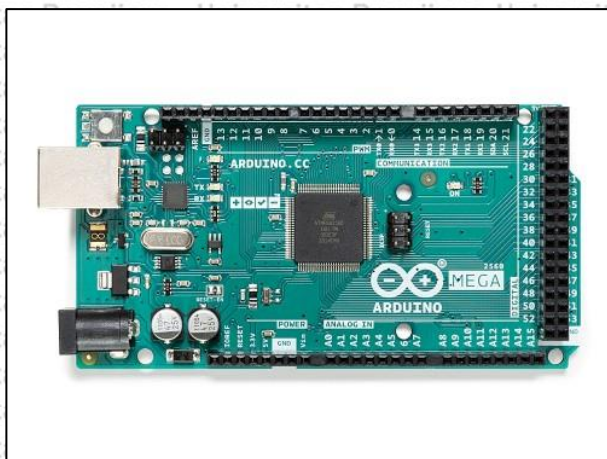
Penentuan modul elektrik yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Laptop atau Komputer yang sudah terinstall *software* Arduino IDE, matlab. Dapat dilihat pada gambar 3.18.



Gambar 3.18 Laptop

2. Mikrokontroler Arduino Mega2560 sebagai perangkat kontroler dapat dilihat pada gambar 3.19.



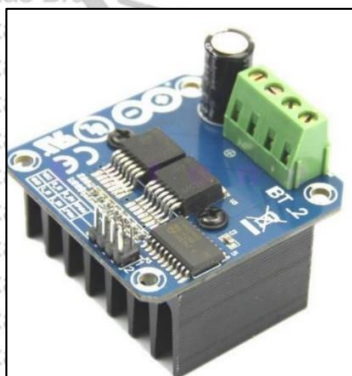
Gambar 3.19 Mikrokontroler arduino mega 2560

3. *Power Supply* 24 V sebagai catu daya *driver motor*, bentuk fisik *power supply* dapat dilihat pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 Power Supply 24 V

4. *Driver motor* BTS7960 untuk menggerakan motor dapat dilihat pada gambar 3.21.



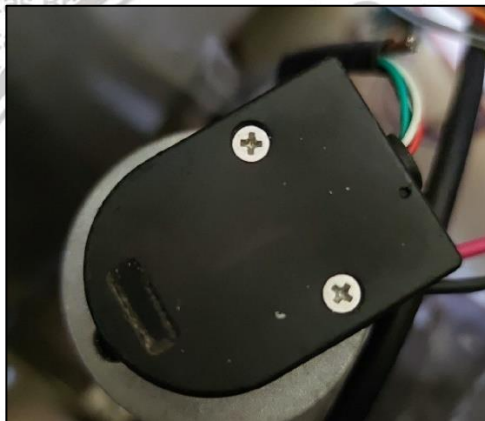
Gambar 3.21 Driver motor BTS7960

5. Motor DC PG45 *planetary gearbox* dapat dilihat pada gambar 3.22.



Gambar 3.22 Motor DC PG45

6. Sensor *rotary encoder* sebagai sensor pembacaan kecepatan putar motor dapat dilihat pada gambar 3.23.



Gambar 3.23 Sensor *rotary encoder*

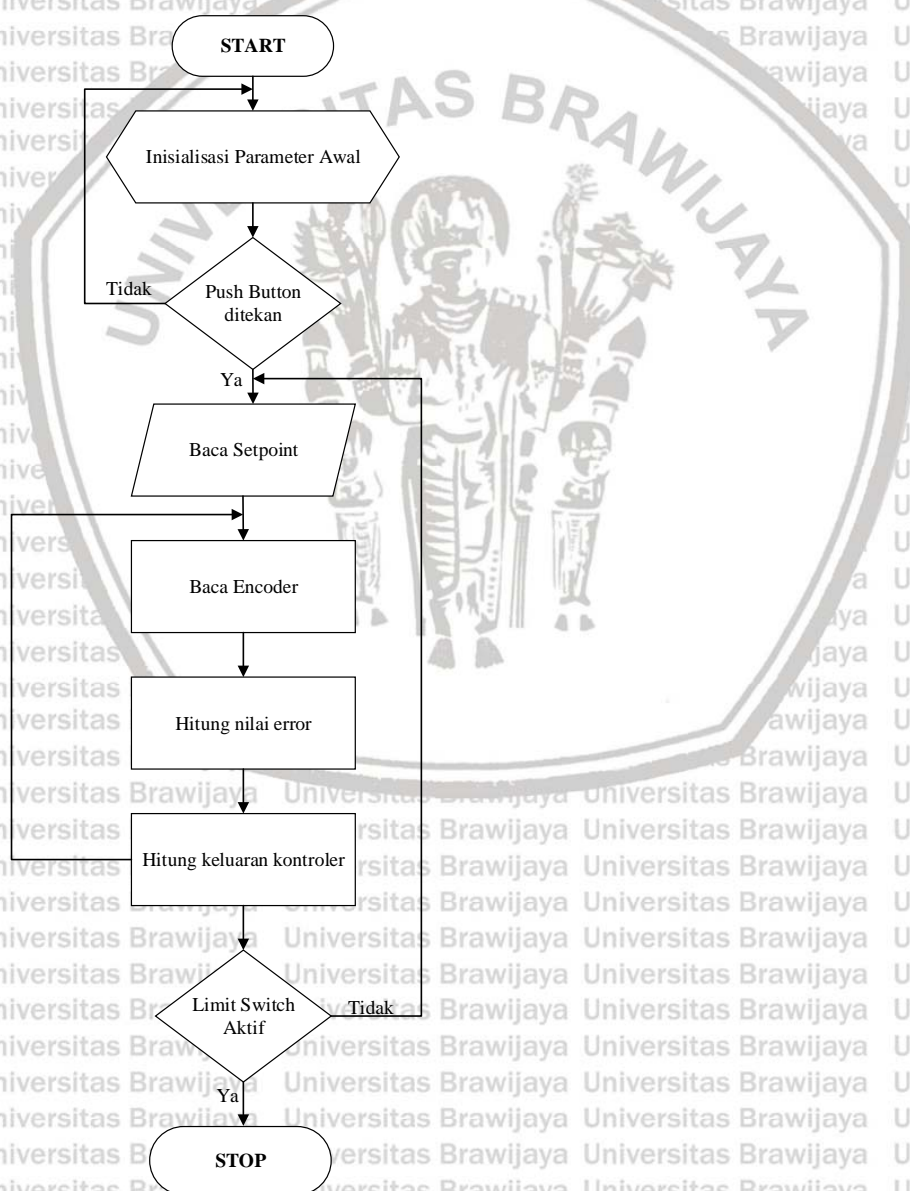
3.7.3 Prinsip Kerja Sistem

1. *Power supply* 24 V sebagai catu daya *driver* motor DC dengan tegangan 24V.
2. Catu daya mikrokontroler Arduino Mega2560 diambil dari PC dengan menghubungkan pada *port* USB.
3. Sensor *rotary encoder* terhubung pada bagian belakang motor DC.
4. Pembacaan kecepatan putar motor DC menggunakan *rotary encoder* yang terhubung pada motor DC.
5. *Shaft* motor DC terhubung dengan gear dan rantai yang terhubung dengan batang berulir.
6. Dengan menekan *push button* motor akan bergerak memutar *gear* sesuai *setpoint* yang ditentukan.

7. Gear menggerakkan batang berulir, kemudian batang berulir mengubah gerak putar motor menjadi gerakan linier yang kemudian menggerakkan pelat penekan.
8. Keluaran kontroler PID pada mikrokontroler berupa sinyal PWM yang dihubungkan dengan *driver motor*.
9. Hasil keluaran sinyal PWM dari mikrokontroler digunakan untuk menggerakkan motor DC.
10. Ketika *limit switch* tertekan oleh pelat penekan, motor DC berhenti.

3.8 Pembuatan Algoritma dan Program

Perancangan perangkat lunak berkaitan dengan *flowchart* program yang akan diimplementasikan. Gambar 3.24 adalah *flowchart* sistem secara keseluruhan.



Gambar 3.24 Flowchart pengujian

3.9 Perancangan Pengujian Sistem

Pengujian pada penelitian ini meliputi;

3.9.1 Pengujian Sistem Tanpa Beban

Prosedur pengujian sistem tanpa beban adalah sebagai berikut:

1. Nilai parameter kontrol diatur $K_p = 0,116$ dan $K_i = 2,245$ dan $K_d = 0,015$.
2. *Setpoint* yang digunakan adalah 400, 450, dan 500 Rpm.
3. Nilai *settling time* (t_s), *rise time* (t_r), *overshoot* dan waktu hingga motor berhenti dicatat serial monitor *software* Arduino IDE.
4. Waktu *sampling* yang digunakan adalah 50 ms.

3.9.2 Pengujian Sistem Berbeban

Prosedur pengujian sistem berbeban adalah sebagai berikut:

1. Nilai parameter kontrol diatur $K_p = 0,116$ dan $K_i = 2,245$ dan $K_d = 0,015$.
2. Beban yang digunakan adalah sampah rumah tangga yang letakkan dalam wadah tempat sampah.
3. *Setpoint* yang digunakan adalah 400, 450 dan 500 Rpm.
4. Data kecepatan motor dicatat pada serial monitor *software* Arduino IDE.
5. Waktu *sampling* yang digunakan adalah 50 ms.

3.9.3 Simulasi Pengujian Sistem dengan Gangguan

Prosedur pengujian sistem dengan gangguan adalah sebagai berikut:

1. Nilai parameter kontrol diatur $K_p = 0,116$ dan $K_i = 2,245$ dan $K_d = 0,015$.
2. Ketika sistem mencapai keadaan *steady* akan diberikan gangguan dengan menahan pelat penekan selama beberapa detik, kemudian gangguan dihilangkan untuk melihat respons sistem.
3. *Setpoint* yang digunakan adalah 400, 450 dan 500 Rpm.
4. Data kecepatan motor di catat pada serial monitor *software* Arduino IDE.
5. Waktu *sampling* yang digunakan adalah 50 ms.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini dilakukan pengujian dan analisis sistem setiap blok secara keseluruhan. Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan yang telah ditentukan. Pengujian setiap blok dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan untuk mempermudah dalam melakukan analisis pada sistem apabila tidak bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu :

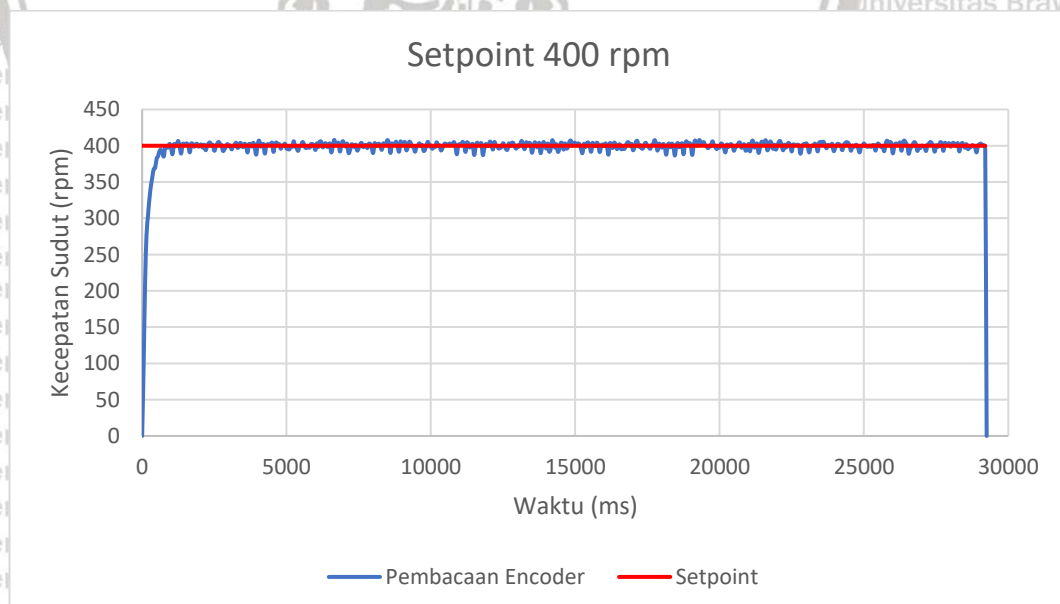
1. Pengujian sistem tanpa beban
2. Pengujian sistem dengan beban
3. Simulasi pengujian sistem dengan gangguan

4.1. Pengujian Sistem Tanpa Beban

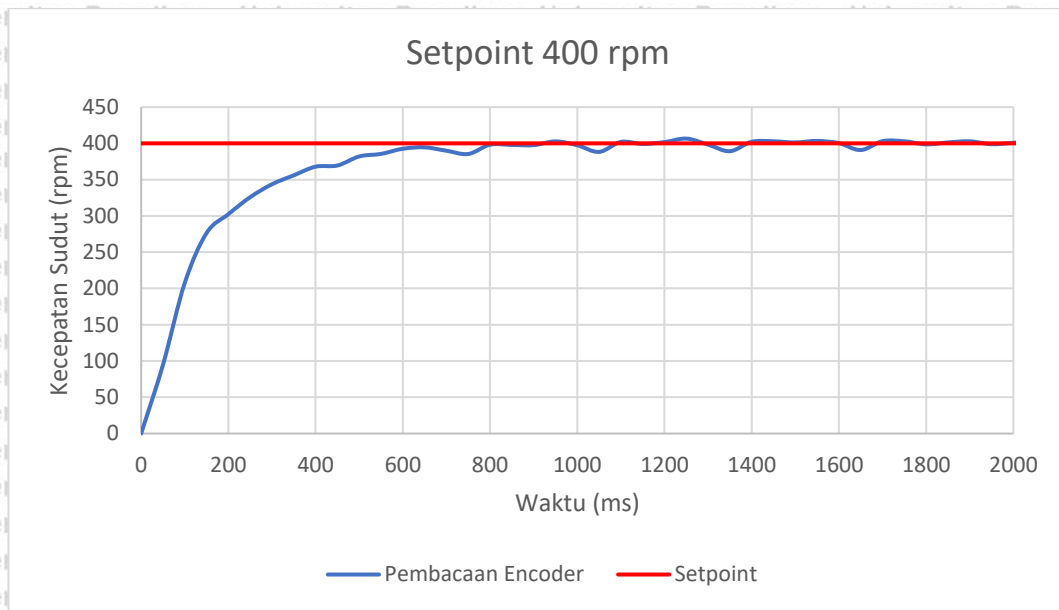
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performansi sistem ketika bekerja tanpa adanya beban. Prosedur pengujian terdapat pada subbab 3.9.1.

4.1.1. Pengujian Dengan Setpoint 400 rpm

Keluaran sistem pada pengujian sistem tanpa beban dengan *setpoint* 400 RPM ditunjukkan dalam Gambar 4.1. dan Gambar 4.2



Gambar 4.1 Keluaran sistem tanpa beban dengan setpoint 400 rpm



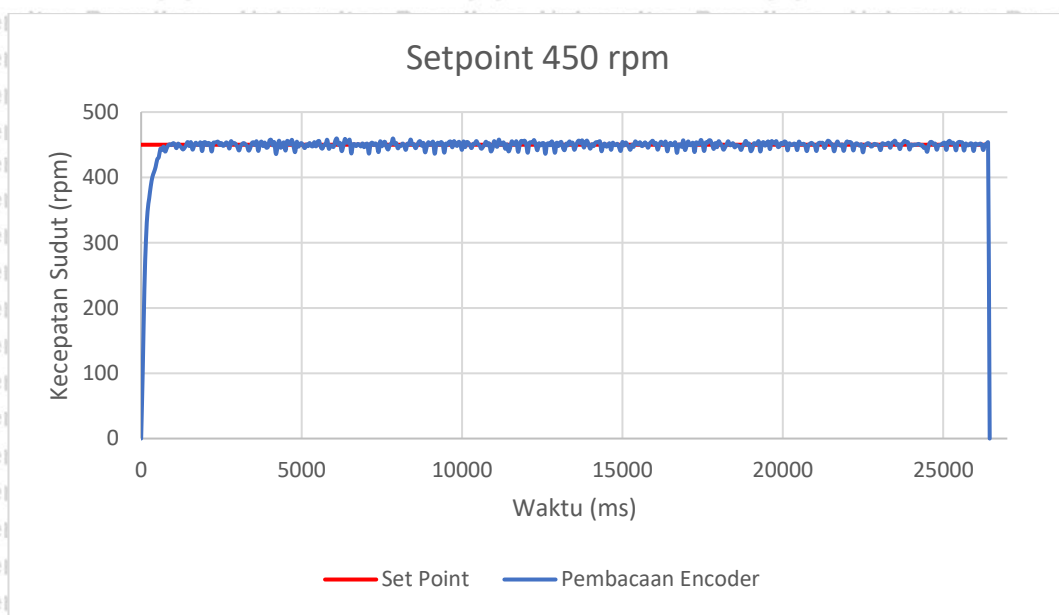
Gambar 4.2 Keluaran sistem tanpa beban dengan *setpoint* 400 rpm

Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 Merupakan keluaran sistem yang di gambarkan dalam bentuk kurva kecepatan motor terhadap waktu. Dari pengujian tanpa beban ini didapatkan waktu yang dibutuhkan motor hingga *limit switch* tertekan adalah 29,2 detik, dan nilai *rise time* sebesar 0,35 detik, *overshoot* 0%, *settling time* 0,8 detik dan *error steady state* 0,0341%. Nilai yang berubah-ubah sesudah *settling time* merupakan *error* pembacaan sensor *rotary encoder*. *Error steady state* didapatkan dengan mencari nilai rata-rata kecepatan motor sampai sebelum menyentuh *limit switch*.

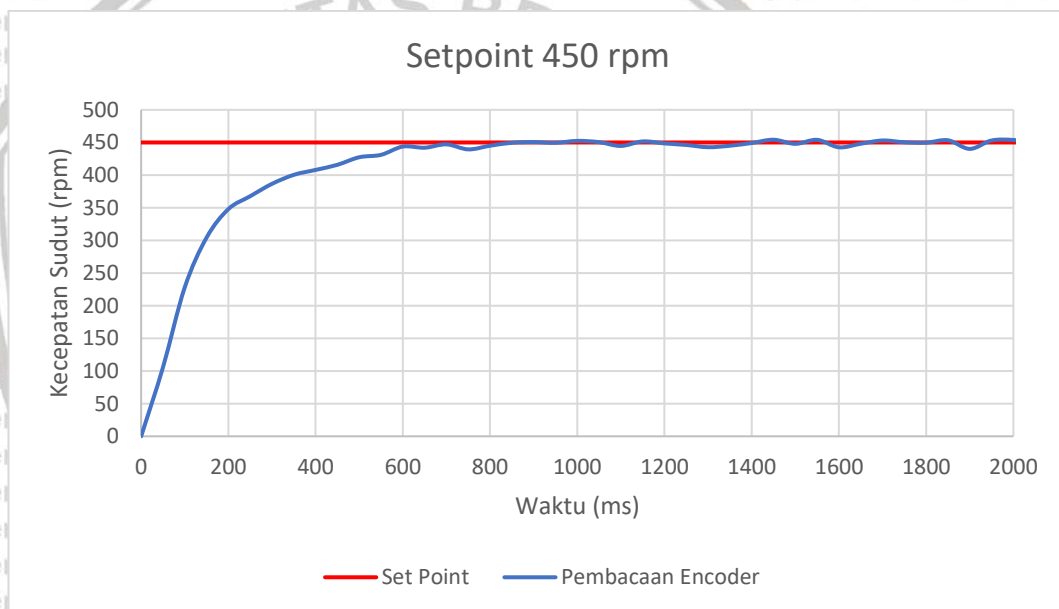
$$e_{ss} (\%) = \frac{|399,866 - 400|}{400} \times 100 \% = 0,0341 \%$$

4.1.2. Pengujian dengan *Setpoint* 450 rpm

Keluaran sistem pada pengujian sistem tanpa beban dengan *setpoint* 450 RPM ditunjukkan dalam Gambar 4.3. dan Gambar 4.4



Gambar 4.3 Keluaran sistem tanpa beban dengan *setpoint* 450 rpm



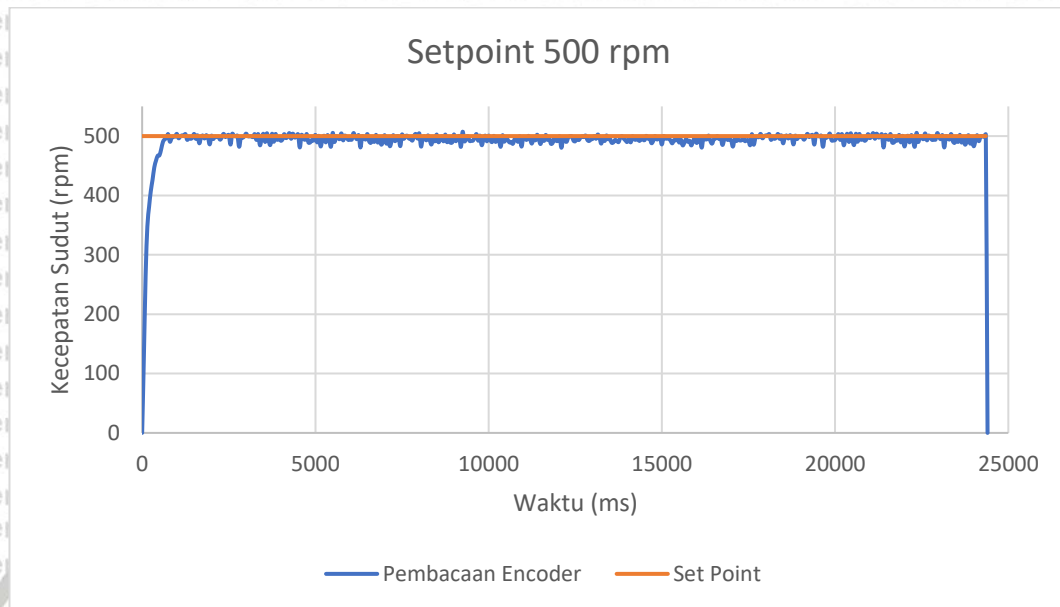
Gambar 4.4 Keluaran sistem tanpa beban dengan *setpoint* 450 rpm

Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 Merupakan keluaran sistem yang di gambarkan dalam bentuk kurva kecepatan motor terhadap waktu. Dari pengujian tanpa beban ini didapatkan waktu yang dibutuhkan motor hingga *limit switch* tertekan adalah 26,4 detik, dan nilai *settling time* sebesar 0,6 detik, *overshoot* 0%, *rise time* 0,325 detik dan *error steady state* 0,0379%. Nilai yang berubah-ubah sesudah *settling time* merupakan *error* pembacaan sensor *rotary encoder*. *Error steady state* didapatkan dengan mencari nilai rata-rata kecepatan motor sampai sebelum menyentuh *limit switch*.

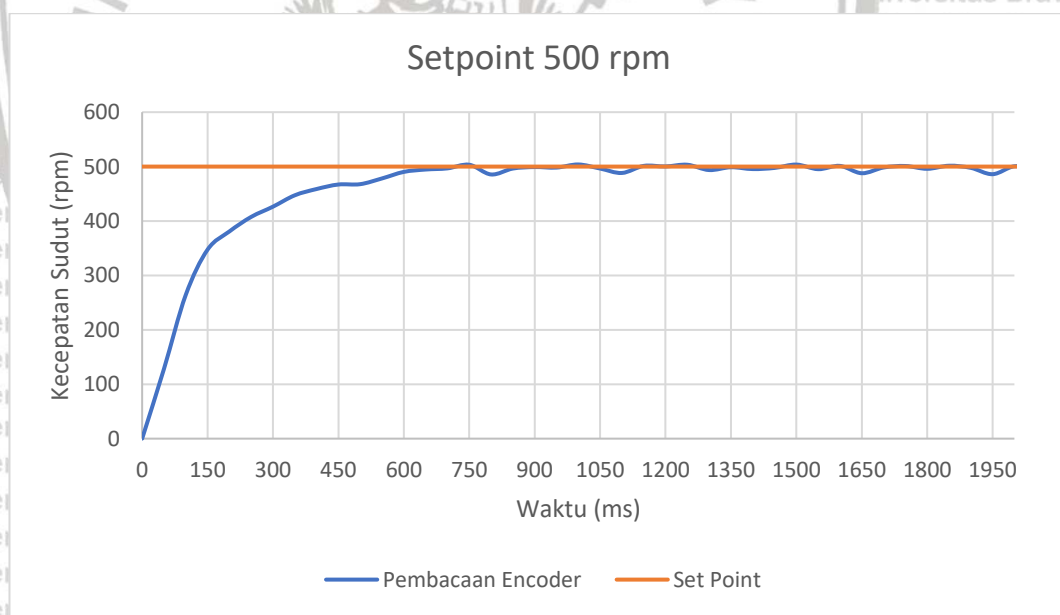
$$e_{ss} (\%) = \frac{|449,829 - 450|}{450} \times 100 = 0,0379 \%$$

4.1.3. Pengujian dengan Setpoint 500 rpm

Keluaran sistem pada pengujian sistem tanpa beban dengan *setpoint* 500 RPM ditunjukkan dalam Gambar 4.5 dan Gambar 4.6



Gambar 4.5 Keluaran sistem tanpa beban dengan *setpoint* 500 rpm



Gambar 4.6 Keluaran sistem tanpa beban dengan *setpoint* 500 rpm

Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 Merupakan keluaran sistem yang di gambarkan dalam bentuk kurva kecepatan motor terhadap waktu. Dari pengujian tanpa ini didapatkan waktu yang dibutuhkan motor hingga *limit switch* tertekan adalah 24,35 detik, dan nilai *settling time* sebesar 0,8 detik, *overshoot* 0,7 %, *rise time* 0,3 detik dan *error steady state* 0,952 %. Nilai yang berubah-ubah sesudah *settling time* merupakan

error pembacaan sensor *rotary encoder*. *Error steady state* didapatkan dengan mencari nilai rata-rata kecepatan motor sampai sebelum menyentuh *limit switch*.

$$\text{ess (\%)} = \frac{|495,238 - 500|}{500} \times 100 \% = 0,952 \%$$

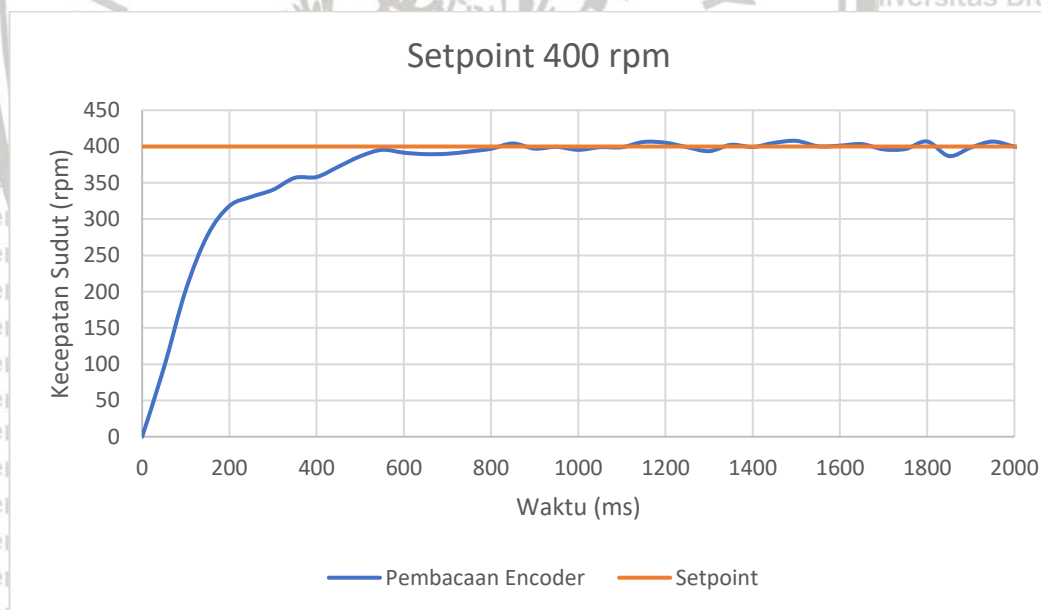
$$\text{overshoot (\%)} = \frac{503,5 - 500}{500} \times 100 \% = 0,7 \%$$

4.2. Pengujian Sistem dengan Beban

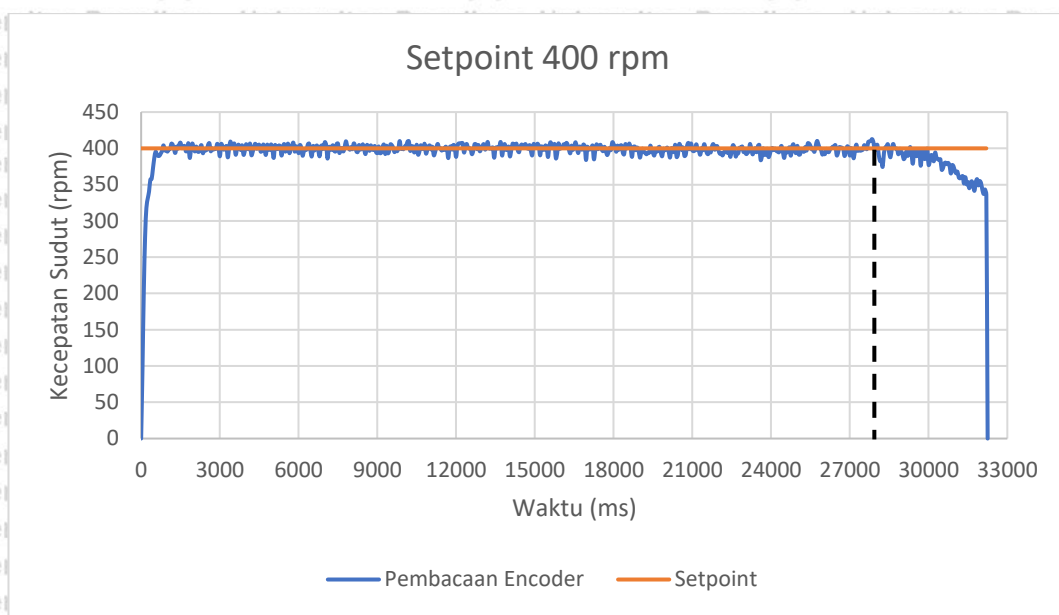
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performansi sistem ketika bekerja ketika diberikan beban. Prosedur pengujian terdapat pada subbab 3.9.2.

4.2.1. Pengujian dengan Setpoint 400 Rpm

Keluaran sistem dengan setpoint 400 rpm ketika adanya beban berupa sampah rumah tangga yang ditekan oleh pelat penekan sampah dengan menggunakan motor DC dapat dilihat pada gambar 4.7 dan gambar 4.8



Gambar 4.7 Keluaran sistem berbeban dengan setpoint 400 rpm

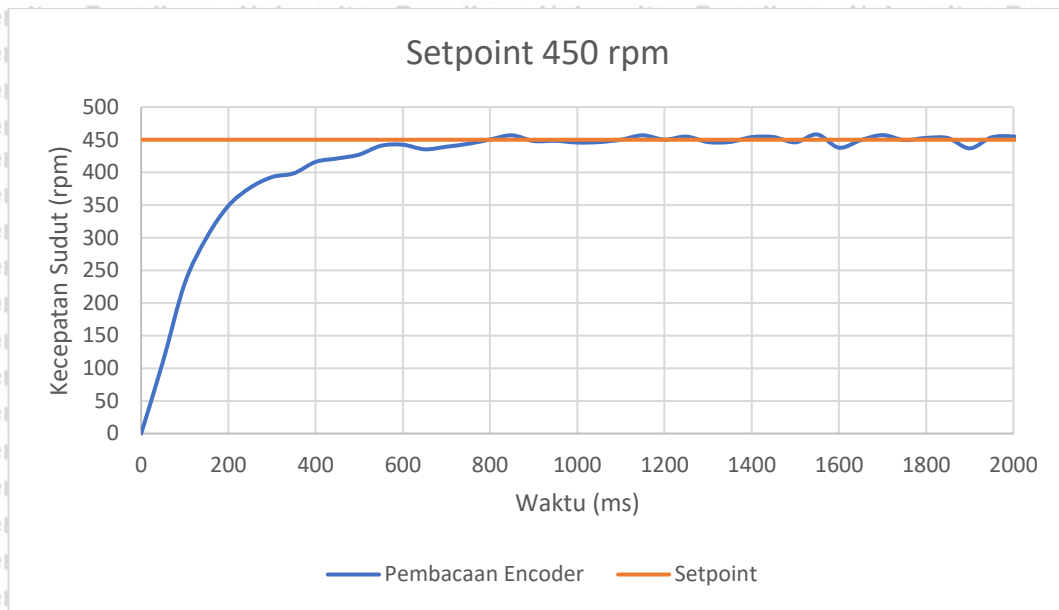


Gambar 4.8 Keluaran sistem berbeban dengan setpoint 400 rpm

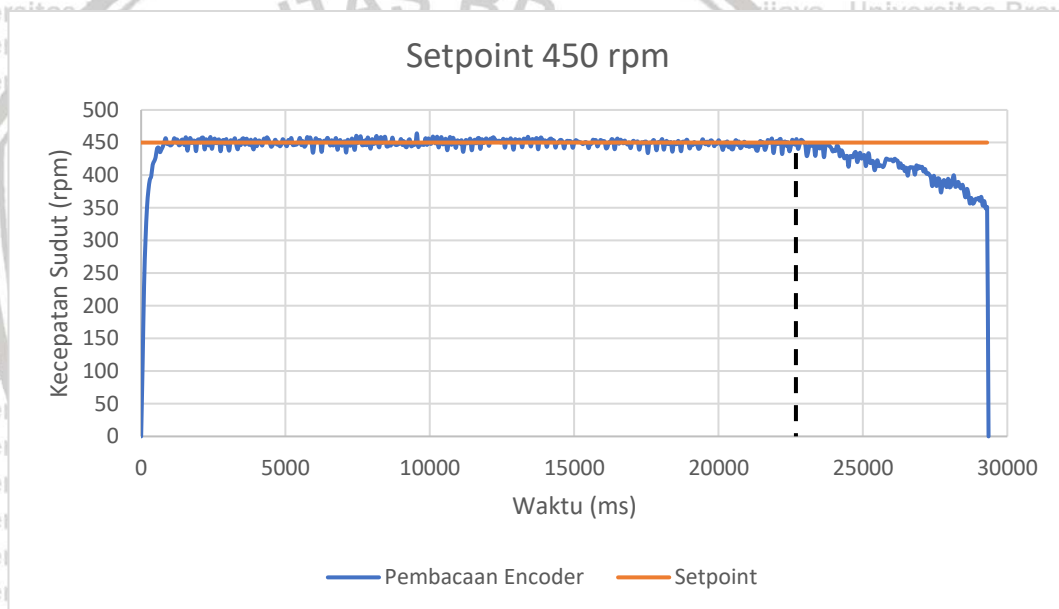
Gambar 4.8 Merupakan keluaran sistem yang digambarkan dalam bentuk kurva kecepatan motor terhadap waktu. Garis putus-putus berwarna hitam merupakan titik di mana pelat penekan menekan beban, nilai kecepatan yang turun diakibatkan karena aktuator telah mencapai limitnya sehingga tidak dapat mempertahankan kecepatannya akibat proses pembebanan yang semakin besar. Proses pembebanan dimulai pada detik ke 27,2 dan proses pembebanan terjadi selama 5 detik, dan dibutuhkan waktu 32,2 detik hingga *limit switch* tertekan dan motor berhenti.

4.2.2. Pengujian dengan Setpoint 450 rpm

Keluaran sistem dengan *setpoint* 450 rpm ketika adanya beban berupa sampah rumah tangga yang ditekan oleh pelat penekan sampah dengan menggunakan motor DC dapat dilihat pada gambar 4.9 dan gambar 4.10.



Gambar 4.9 Keluaran sistem berbeban dengan *setpoint* 450 rpm

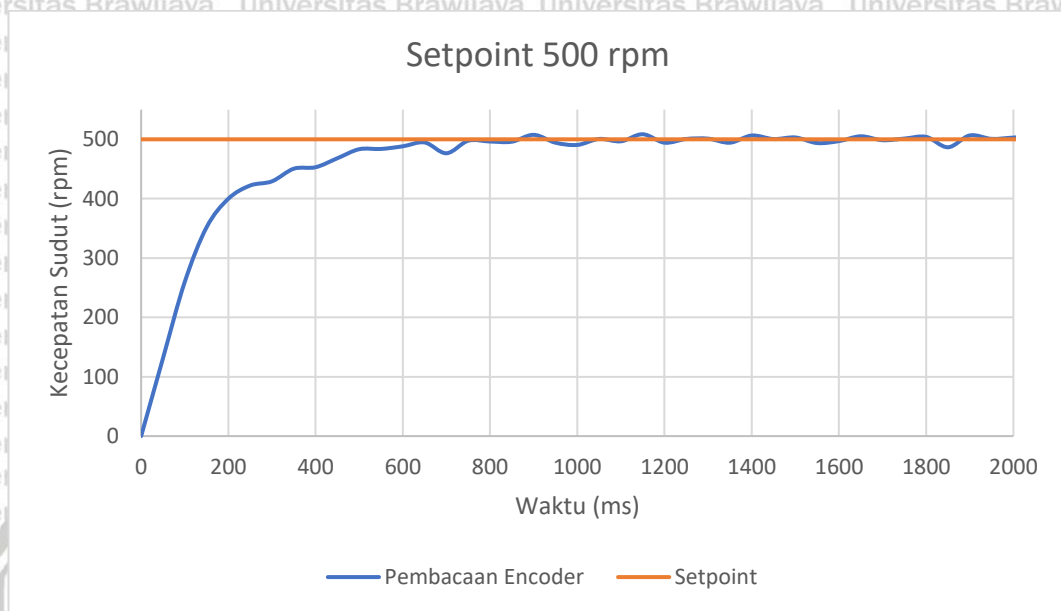


Gambar 4.10 Keluaran sistem berbeban dengan *setpoint* 450 rpm

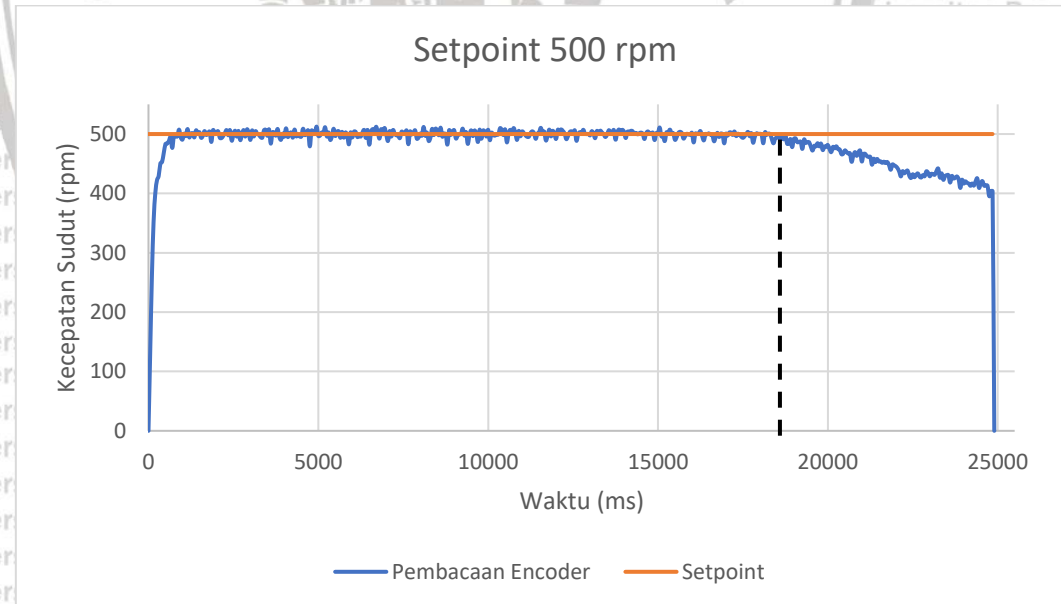
Gambar 4.10 Merupakan keluaran sistem yang digambarkan dalam bentuk kurva kecepatan motor terhadap waktu. Garis putus-putus berwarna hitam merupakan titik di mana pelat penekan menekan beban, nilai kecepatan yang turun diakibatkan karena aktuator telah mencapai limitnya sehingga tidak dapat mempertahankan kecepatannya akibat proses pembebanan yang semakin besar. Proses pembebanan dimulai pada detik ke 23,2 dan proses pembebanan terjadi selama 6,1 detik, dan dibutuhkan waktu 29,3 detik hingga *limit switch* tertekan dan motor berhenti.

4.2.3. Pengujian dengan *setpoint* 500 rpm

Keluaran sistem dengan *setpoint* 500 rpm ketika adanya beban berupa sampah rumah tangga yang ditekan oleh pelat penekan sampah dengan menggunakan motor DC dapat dilihat pada gambar 4.11 dan gambar 4.12



Gambar 4.11 Keluaran sistem berbeban dengan *setpoint* 500 rpm



Gambar 4.12 Keluaran sistem berbeban dengan *setpoint* 500 rpm

Gambar 4.12 Merupakan keluaran sistem yang digambarkan dalam bentuk kurva kecepatan motor terhadap waktu. Garis putus-putus berwarna hitam merupakan titik di mana pelat penekan menekan beban, nilai kecepatan yang turun diakibatkan karena aktuator telah mencapai limitnya sehingga tidak dapat mempertahankan kecepatannya akibat proses pembebanan yang semakin besar. Proses pembebanan dimulai pada detik

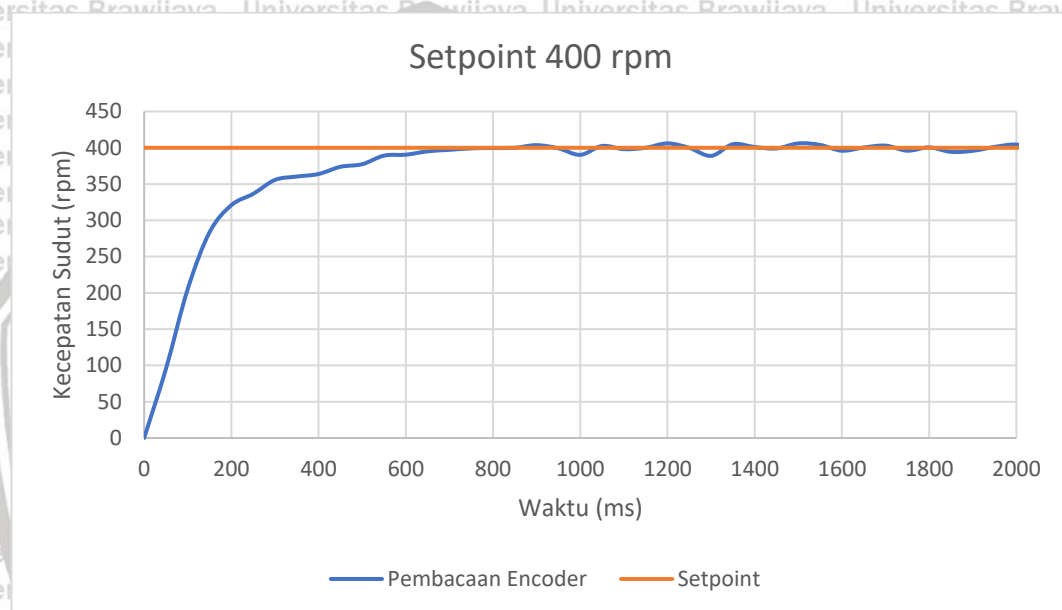
ke 18,4 dan proses pembebanan terjadi selama 6,45 detik, dan dibutuhkan waktu 24,85 detik hingga *limit switch* tertekan dan motor berhenti.

4.3. Simulasi Pengujian Sistem dengan Gangguan

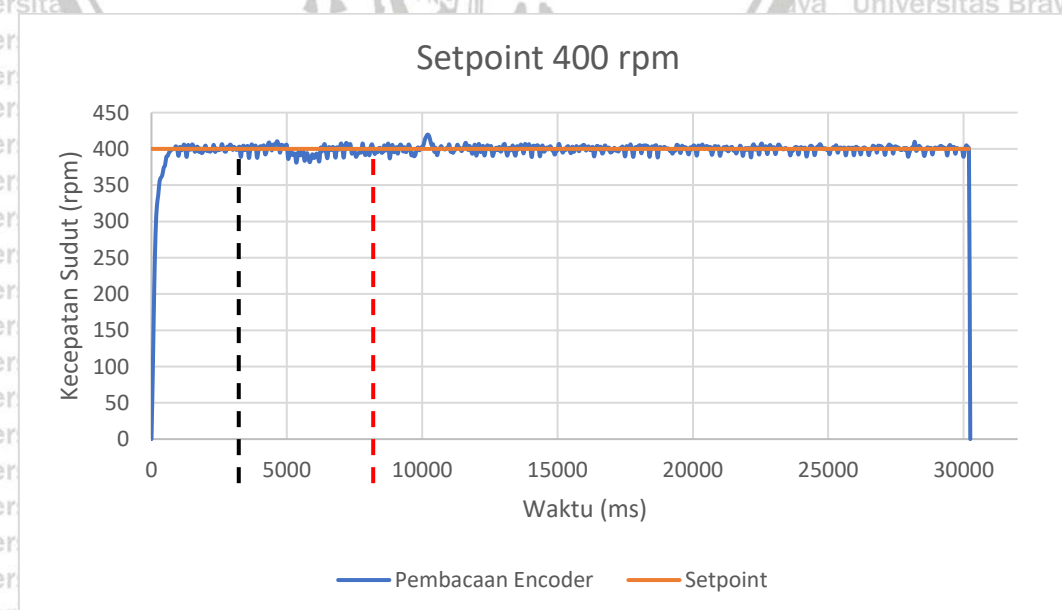
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performansi sistem ketika mengalami gangguan. Prosedur pengujian terdapat pada subbab 3.9.3.

4.3.1. Simulasi Pengujian dengan *setpoint* 400 rpm

Simulasi pengujian sistem dengan gangguan pada *setpoint* 400 rpm dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.13 Keluaran sistem dengan *setpoint* 400 rpm



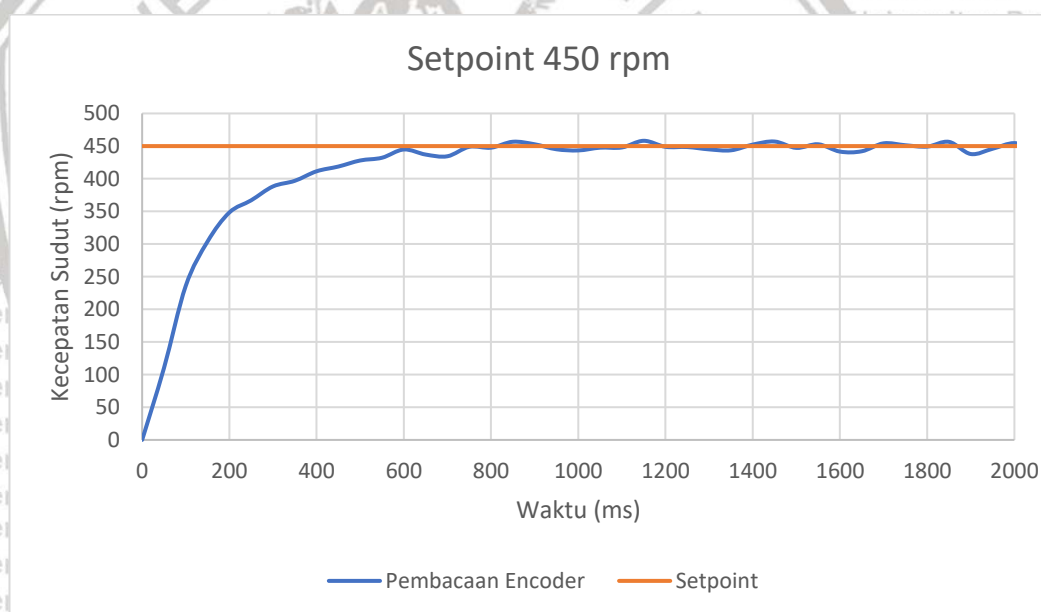
Gambar 4.14 Keluaran sistem dengan gangguan pada *setpoint* 400 rpm

Gambar 4.14 Merupakan keluaran sistem yang digambarkan dalam bentuk kurva kecepatan motor terhadap waktu. Garis putus-putus berwarna hitam merupakan titik di mana sistem diberikan gangguan dan garis putus-putus berwarna merah adalah titik di mana gangguan dihilangkan. Gangguan diberikan selama 4,7 detik dimulai pada detik ke 5. Setelah gangguan dihilangkan sistem membutuhkan waktu *recovery* atau waktu ketika sistem mengalami gangguan hingga sistem menetap pada 2% atau 5% dari kondisi *steady* adalah 5,65 detik dan mengalami *overshoot* sebesar 4,94 %. Dan dibutuhkan waktu selama 30,2 detik hingga *limit switch* tertekan dan motor berhenti.

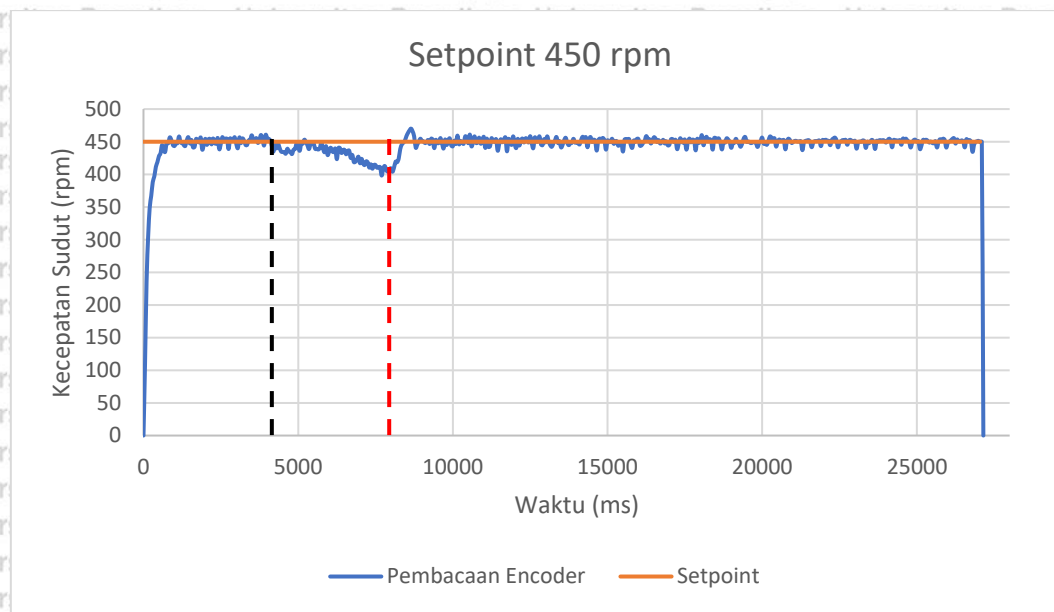
$$\text{overshoot} (\%) = \frac{419,76 - 400}{400} \times 100 \% = 4,94 \%$$

4.3.2. Simulasi Pengujian dengan *setpoint* 450 rpm

Simulasi pengujian sistem dengan gangguan pada *setpoint* 450 rpm dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.15 Keluaran sistem dengan *setpoint* 450 rpm



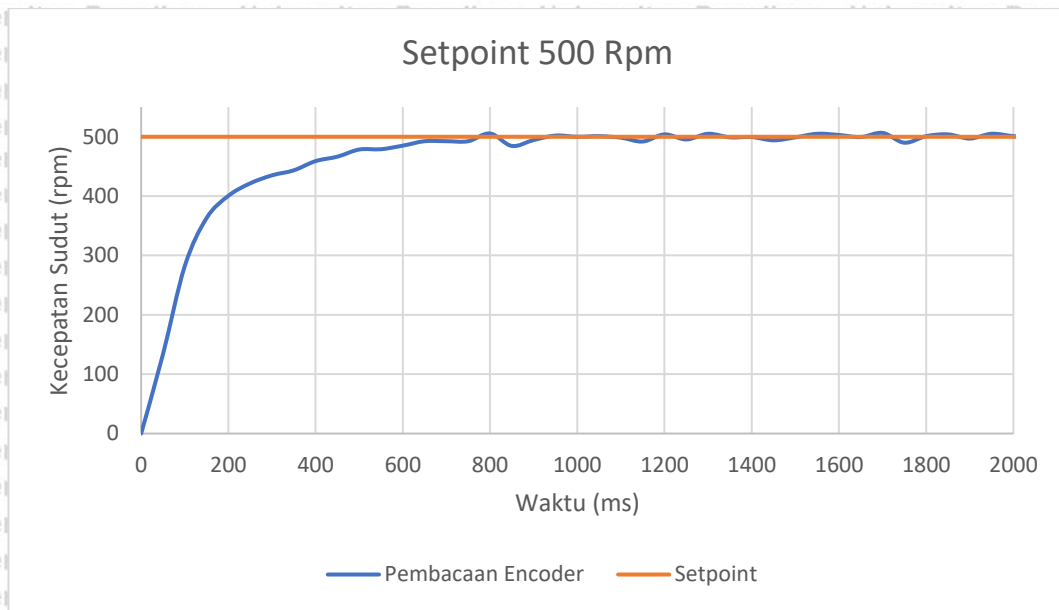
Gambar 4.16 Keluaran sistem dengan gangguan pada *setpoint* 450 rpm

Gambar 4.16 Merupakan keluaran sistem yang digambarkan dalam bentuk kurva kecepatan motor terhadap waktu. Garis putus-putus berwarna hitam merupakan titik di mana sistem diberikan gangguan dan garis putus-putus berwarna merah adalah titik di mana gangguan dihilangkan. Gangguan diberikan selama 4 detik dimulai pada detik ke 4. Setelah gangguan dihilangkan sistem membutuhkan waktu *recovery* atau waktu ketika sistem mengalami gangguan hingga sistem menetap pada 2% atau 5% dari kondisi *steady* adalah 4,85 detik dan mengalami *overshoot* sebesar 4,468 %. Dan dibutuhkan waktu selama 27,1 detik hingga *limit switch* tertekan dan motor berhenti.

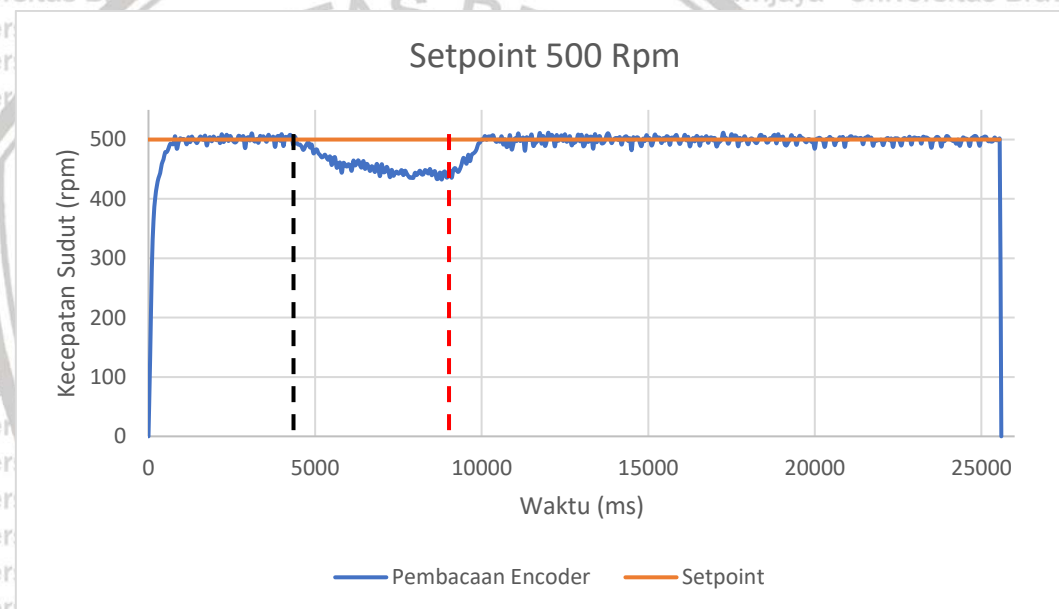
$$\text{overshoot (\%)} = \frac{470,11 - 450}{450} \times 100 \% = 4,468 \%$$

4.3.3. Simulasi Pengujian dengan *setpoint* 500 rpm

Simulasi pengujian sistem dengan gangguan pada *setpoint* 500 rpm dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.17 Keluaran sistem dengan *setpoint* 500 rpm



Gambar 4.18 Keluaran sistem dengan gangguan pada *setpoint* 500 rpm

Gambar 4.18 Merupakan keluaran sistem yang digambarkan dalam bentuk kurva kecepatan motor terhadap waktu. Garis putus-putus berwarna hitam merupakan titik di mana sistem diberikan gangguan dan garis putus-putus berwarna merah adalah titik di mana gangguan dihilangkan. Gangguan diberikan selama 4,7 detik dimulai pada detik ke 4,5. Setelah gangguan dihilangkan sistem membutuhkan waktu *recovery* atau waktu ketika sistem mengalami gangguan hingga sistem menetap pada 2% atau 5% dari kondisi *steady* adalah 5,65 detik dan mengalami *overshoot* sebesar 1,2 %. Dan dibutuhkan waktu selama 25,55 detik hingga *limit switch* tertekan dan motor berhenti.

$$\text{overshoot} (\%) = \frac{506 - 500}{500} \times 100 \% = 1,2 \%$$

4.4. Hasil Pengujian Sistem

Untuk mempermudah pembacaan hasil pengujian dari setiap pengujian yang telah dilakukan pada subbab 4.1, 4.2 dan 4.3 dapat dilihat pada tabel yang telah disiapkan.

Tabel 4.1 Hasil pengujian sistem tanpa beban

<i>Setpoint</i>	400	450	500
<i>Rise time (s)</i>	0,35	0,325	0,3
<i>Settling time (s)</i>	0,8	0,6	0,8
<i>Ess (%)</i>	0,0341	0,379	0,952
<i>Overshoot (%)</i>	0	0	0,7
Kecepatan rata-rata (rpm)	399,866	449,829	495,238
Waktu tempuh (s)	29,3	26,4	24,35

Tabel 4.2 Hasil pengujian sistem dengan beban

<i>Setpoint</i>	400	450	500
Proses pembebanan (s)	5	6,1	6,45
Waktu tempuh (s)	32,2	29,3	24,85

Tabel 4.3 Hasil pengujian sistem dengan gangguan

<i>Setpoint</i>	400	450	500
Waktu <i>recovery</i> (s)	5,65	4,85	5,65
<i>Overshoot (%)</i>	4,94	4,468	1,2
Waktu tempuh (s)	30,2	27,1	25,55

Berdasarkan Tabel 4.1 hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai *setpoint* yang berbeda menghasilkan respons yang berbeda tetapi memiliki perbedaan yang kecil dan semakin besar nilai *setpoint* yang diberikan, semakin kecil waktu tempuh yang diperlukan. Dan nilai yang berubah-ubah setelah *settling time* diakibatkan *error* pembacaan sensor *rotary encoder*. Berdasarkan Tabel 4.2 nilai *setpoint* yang berbeda memiliki lama proses pembebanan dan waktu tempuh yang berbeda. Berdasarkan Tabel 4.3 ketika sistem mengalami gangguan, sistem membutuhkan waktu *recovery* di bawah 1 detik dengan *overshoot* di bawah 5%. Semakin besar *setpoint* maka waktu tempuh yang didapatkan semakin kecil.

Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Fungsi alih sistem keseluruhan adalah $\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{1656}{s^2 + 47,92s + 839,8}$.
2. Metode *Hand Tuning* dapat digunakan untuk kontrol kecepatan motor DC PG45.
3. Pemberian kontroler PID mempengaruhi keluaran sistem.
4. Hasil dari pengujian sistem dengan 3 jenis *setpoint* menunjukkan bahwa kecepatan motor DC mengikuti *setpoint*.
5. Nilai parameter kontroler PID yang didapatkan adalah $K_p = 0,116$, $K_i = 2,245$, dan $K_d = 0,015$.
6. Dengan menggunakan kontroler PID didapatkan *settling time* rata-rata sebesar 0,73 detik, *rise time* rata-rata sebesar 0,325 detik, *error steady state* kurang dari 1 % dan *overshoot* kurang dari 0,8 %. Dan didapatkan waktu *recovery* rata-rata sistem sebesar 5,38 detik dan *overshoot* kurang dari 5 % ketika sistem mengalami gangguan.
7. Berdasarkan pengujian yang dilakukan sistem bekerja cukup baik sesuai dengan spesifikasi desain yang telah ditentukan.

5.2 Saran

Dalam implementasi alat ini masih memiliki kelemahan. Untuk memperbaiki dan meningkatkan kinerja dari alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan oleh penulis sebagai berikut :

1. Mengganti sensor *rotary encoder* dengan spesifikasi yang lebih baik untuk mendapatkan hasil pembacaan data yang baik.
2. Disarankan mengganti metode pengontrolan dengan metode selain PID.
3. Menggunakan metode identifikasi sistem untuk mendapat fungsi alih sistem yang lebih akurat.

Halaman ini sengaja dikosongkan.



DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, R. (2019). *KONTROL POSISI MOTOR DC MENGGUNAKAN KONTROLER PI PADA LINEAR SLIDE AKTUATOR ROBOT DIVISI KRAI*. Malang: Universitas Brawijaya, Skripsi tidak dipublikasikan.
- Arisona, R. D. (2018). *Pengelolaan Sampah 3R (Reduce, Reuse, Recycle) Pada Pembelajaran IPS Untuk Menumbuhkan Karakter Peduli Lingkungan*. Ponorogo: Institut Agama Islam Negeri Ponorogo.
- Ashwaq, A. (2016). *GUI Based Control System Analysis Using PID Controller for Education*. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 91-101.
- Astrom, K. J., & Hagglund, T. (1995). *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America: Research Triangle Park.
- Baharuddin. (2012). *SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR DC BERBASIS PWM (Pulse Widht Modulation)*. Jurnal Universitas Hasanuddin Makassar.
- Iswanto, A. M. (2020). *Arduino Embedded Control System of DC Motor Using Proportional Integral Derivative*. International Journal of Control and Automation, 658-667.
- Kasmira, A. W. (2018). *Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Putar Motor DC Menggunakan PID Controller Pada Mesin Pengaduk*. Jurnal Universitas Hasanuddin Makassar, 11.
- Ogata, K. (1995). *Teknik Kontrol Automatik (sistem pengaturan) (jilid 1 ed)*. Jakarta: Erlangga.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering 5th Edition*. New York: Prentice Hall.
- Setiawan, M. R. (2012). *Kontrol Kecepatan Motor DC Dengan Metode PID Menggunakan Visual Basic 6.0 dan Mikrokontroler Atmega 16*. Jurnal EECCIS, 6, 1-6.
- Subari, A. (2020). *Implementasi Identifikasi Metode Black Box Pada Motor DC Menggunakan Correlation Analysis dan Model ARX*. Jurnal Universitas Diponegoro, 134-139.
- Yudaningtyas, E. (2017). *Belajar Sistem Kontrol: Soal dan Pembahasan*. Malang: UB Press.

Halaman ini sengaja dikosongkan.



Lampiran 1 Listing Program



- **Library PID**

```

/*****

```

```

**

```

```

* Arduino PID Library - Version 1.2.1

```

```

* by Brett Beauregard <br3ttb@gmail.com> brettbeauregard.com

```

```

*

```

```

* This Library is licensed under the MIT License

```

```

****

```

```

*/

```

```


```

```


```

```

#if ARDUINO >= 100

```

```

#include "Arduino.h"

```

```

#else

```

```

#include "WProgram.h"

```

```

#endif

```

```


```

```

#include <PID_v1.h>

```

```


```

```

PID::PID(double* Input, double* Output, double* Setpoint,
double Kp, double Ki, double Kd, int POn, int ControllerDirection)

```

```

{

```

```

    myOutput = Output;

```

```

    myInput = Input;

```

```

    mySetpoint = Setpoint;

```

```

    inAuto = false;

```

```


```

```

    PID::SetOutputLimits(0, 255); //default output limit corresponds to

```

```

    //the arduino pwm limits

```

```


```

```

    SampleTime = 100; //default Controller Sample Time is 0.1

```

```

seconds

```

```


```

```

    PID::SetControllerDirection(ControllerDirection);

```

```

    PID::SetTunings(Kp, Ki, Kd, POn);

```

```


```

```

    lastTime = millis()-SampleTime;

```

```

}

```

```


```

```

PID::PID(double* Input, double* Output, double* Setpoint,

```

```

double Kp, double Ki, double Kd, int ControllerDirection)

```

```

:PID::PID(Input, Output, Setpoint, Kp, Ki, Kd, P_ON_E, ControllerDirection)

```

```

{

```

```

}

```

```


```

```


```

```

bool PID::Compute()

```

```

{

```

```

}

```

```


```

```


```

```


```

```


```



```

{
    if(!inAuto) return false;
    unsigned long now = millis();
    unsigned long timeChange = (now - lastTime);
    if(timeChange >= SampleTime)
    {
        /*Compute all the working error variables*/
        double input = *myInput;
        double error = *mySetpoint - input;
        double dInput = (input - lastInput);
        outputSum += (ki * error);

        /*Add Proportional on Measurement, if P_ON_M is specified*/
        if(!pOnE) outputSum -= kp * dInput;

        if(outputSum > outMax) outputSum = outMax;
        else if(outputSum < outMin) outputSum = outMin;

        /*Add Proportional on Error, if P_ON_E is specified*/
        double output;
        if(pOnE) output = kp * error;
        else output = 0;

        /*Compute Rest of PID Output*/
        output += outputSum - kd * dInput;

        if (output > outMax) output = outMax;
        else if (output < outMin) output = outMin;
        *myOutput = output;

        /*Remember some variables for next time*/
        lastInput = input;
        lastTime = now;
        return true;
    }
    else return false;
}

```

```

void PID::SetTunings(double Kp, double Ki, double Kd, int POn)
{

```

```

    if (Kp<0 || Ki<0 || Kd<0) return;

```

```

    pOn = POn;

```

```

    pOnE = POn == P_ON_E;

```

```

    dispKp = Kp; dispKi = Ki; dispKd = Kd;

```

```

double SampleTimeInSec = ((double)SampleTime)/1000;
kp = Kp;
ki = Ki * SampleTimeInSec;
kd = Kd / SampleTimeInSec;

```

```

if(controllerDirection == REVERSE)

```

```

{
    kp = (0 - kp);
    ki = (0 - ki);
    kd = (0 - kd);
}

```

```

void PID::SetTunings(double Kp, double Ki, double Kd){
    SetTunings(Kp, Ki, Kd, pOn);
}

```

```

void PID::SetSampleTime(int NewSampleTime)

```

```

{
    if (NewSampleTime > 0)
    {
        double ratio = (double)NewSampleTime
            / (double)SampleTime;
        ki *= ratio;
        kd /= ratio;
        SampleTime = (unsigned long)NewSampleTime;
    }
}

```

```

void PID::SetOutputLimits(double Min, double Max)

```

```

{
    if(Min >= Max) return;
    outMin = Min;
    outMax = Max;
}

```

```

if(inAuto)

```

```

{
    if(*myOutput > outMax) *myOutput = outMax;
    else if(*myOutput < outMin) *myOutput = outMin;

    if(outputSum > outMax) outputSum= outMax;
    else if(outputSum < outMin) outputSum= outMin;
}
}

```

```

void PID::SetMode(int Mode)

```

```

{

```



```

bool newAuto = (Mode == AUTOMATIC);
if(newAuto && !inAuto)
{ /*we just went from manual to auto*/
  PID::Initialize();
}
inAuto = newAuto;
}

void PID::Initialize()
{
  outputSum = *myOutput;
  lastInput = *myInput;
  if(outputSum > outMax) outputSum = outMax;
  else if(outputSum < outMin) outputSum = outMin;
}

void PID::SetControllerDirection(int Direction)
{
  if(inAuto && Direction != controllerDirection)
  {
    kp = (0 - kp);
    ki = (0 - ki);
    kd = (0 - kd);
  }
  controllerDirection = Direction;
}

double PID::GetKp(){ return dispKp; }
double PID::GetKi(){ return dispKi; }
double PID::GetKd(){ return dispKd; }
int PID::GetMode(){ return inAuto ? AUTOMATIC : MANUAL; }
int PID::GetDirection(){ return controllerDirection; }

```

- **Library PID 2**

```

#ifndef PID_v1_h
#define PID_v1_h
#define LIBRARY_VERSION 1.2.1
class PID
{
public:
  //Constants used in some of the functions below
  #define AUTOMATIC 1
  #define MANUAL 0
  #define DIRECT 0
  #define REVERSE 1
  #define P_ON_M 0

```

```
#define P_ON_E 1
```

```
//commonly used functions
```

```
*****
```

```
PID(double*, double*, double*, double, double, double, int, int);
```

```
PID(double*, double*, double, double, double, double, int);
```

```
//Setpoint. Initial tuning parameters are also set here
```

```
void SetMode(int Mode); // * sets PID to either Manual (0) or Auto (non-0)
```

```
bool Compute(); // * performs the PID calculation. it should be
                // called every time loop() cycles. ON/OFF and
                // calculation frequency can be set using SetMode
                // SetSampleTime respectively
```

```
void SetOutputLimits(double, double);
```

```
// * clamps the output to a specific range. 0-255 by default, but
```

```
//available but not commonly used functions
```

```
*****
```

```
void SetTunings(double, double, double);
```

```
//constructor, this function gives the user the option
```

```
// of changing tunings during runtime for Adaptive control
```

```
void SetTunings(double, double, double, int);
```

```
void SetControllerDirection(int);
```

```
void SetSampleTime(int);
```

```
//Display functions
```

```
*****
```

```
double GetKp(); // These functions query the pid for internal values.
```

```
double GetKi(); // they were created mainly for the pid front-end,
```

```
double GetKd(); // where it's important to know what is actually
```

```
int GetMode();
```

```
int GetDirection();
```

```
private:
```

```
void Initialize();
```

```
double dispKp;
```

```
double dispKi;
```

```
double dispKd;
```

```
double kp; // * (P)roportional Tuning Parameter
```

```
double ki; // * (I)ntegral Tuning Parameter
```

```
double kd; // * (D)erivative Tuning Parameter
```



```

int controllerDirection;
int pOn;

double *myInput;
double *myOutput;
double *mySetpoint;

unsigned long lastTime;
double outputSum, lastInput;

unsigned long SampleTime;
double outMin, outMax;
bool inAuto, pOnE;
};
#endif

```

• Listing Program Full

```

#include <PID_v1.h>
#define ENCODEROUTPUT 3940 // 200 P/R * 19.7

const int pushbutton = 21; // pushbutton
const int LEDKUNING = 53; //LED3

const int HALLSEN_A = 2; // Hall sensor A connected to pin 3 (external interrupt)
const int HALLSEN_B = 3;
volatile long encoderValue = 0;

int interval = 50;
int SampleTime = 50;
unsigned long previousMillis = 0;
unsigned long currentMillis = 0;
double rpm;
boolean motorstart=false;
int waktu=0;

double sp;
double Kp=0.116;
double Ki=2.245;
double Kd=0.015 ;

double Setpoint,Input,Output;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

const int limitSwitchB = 19;
const int limitSwitchA = 20;

```

```

const int LPWM = 11;
const int RPWM = 12;

int S_Atas;
int S_Bawah;
int pb;
int modemanual=0;
int mstate = 0;
int motormaju=0;

void setup() {
  Serial.begin(57600);
  pinMode(RPWM,OUTPUT);
  pinMode(LPWM,OUTPUT);
  pinMode (HALLSEN_A, INPUT_PULLUP);
  pinMode (pushbutton, INPUT_PULLUP); //pinPushButton
  pinMode (limitSwitchB, INPUT); //limitswitchbawah
  pinMode (limitSwitchA, INPUT); //limitswitchatas
  pinMode (LEDKUNING, OUTPUT); //LEDKUNING
  encoderValue = 0;

  EncoderInit();
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
  myPID.SetSampleTime(SampleTime);
}

void loop() {
  myPID.Compute();
  pb = digitalRead(pushbutton);
  S_Atas = digitalRead(limitSwitchA);
  S_Bawah = digitalRead(limitSwitchB);
  manual();
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis-previousMillis >= interval){
    previousMillis = currentMillis;
    rpm = (double)((1200*encoderValue)/(ENCODEROUTPUT));
    if(rpm<0){rpm=0;}
    encoderValue = 0;
    if(motorstart){
      Setpoint = 500;
      Input=rpm;
      waktu=waktu+50;
      analogWrite(LPWM,Output);
      analogWrite(RPWM,0);
      Serial.print(waktu);
      Serial.print(" ");
      Serial.println(rpm);
    }
  }
}

```



```

Serial.print(" ");
}
}
}
//proses penekanan
if (modemmanual == 1 && S_Atas == HIGH && S_Bawah == LOW && mstate
== 0){
    motorstart=true;
    Serial.println("MOTOR NEKAN");
    mstate = 1;
    motormaju = 1;
    digitalWrite(LEDKUNING, HIGH);
}
else if ((S_Bawah == HIGH && mstate == 1 && S_Atas == LOW &&
motormaju =1;){
    Serial.println("Motor Stop");
    MotorStop();
    mstate=2;
    motormaju =0;
    motorstart=false;
}
else if (S_Atas == LOW && mstate == 2){
    motorstart=false;
    Serial.println("Motor Balik");
    MotorMundur();
    mstate =3;
}
else if (S_Atas == HIGH && S_Bawah == LOW && mstate == 3){
    Serial.println("Motor Stop 2");
    motorstart=false;
    // motorstart2=false;
    mstate = 0;
    motormaju= 0;
    modemmanual =0 ;
    MotorStop2();
    digitalWrite(LEDKUNING,LOW);
}
// Proses Penekanan
}

void MotorStop(){
    analogWrite(RPWM, 0);
    analogWrite(LPWM, 0);
    delay(2000);
}

```

```

void MotorMundur(){
    analogWrite(RPWM,255);
    analogWrite(LPWM,0);
}
void MotorStop2(){
    analogWrite(RPWM, 0);
    analogWrite(LPWM, 0);
}

void manual(){
    if(pb == LOW){
        modemmanual = 1;
    }
    else{
        modemmanual = 0;}
}

void EncoderInit()
{
    // Attach interrupt at hall sensor A on each rising signal
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALLSEN_A), updateEncoder, CHANGE);
}

void updateEncoder()
{
    // Add encoderValue by 1, each time it detects rising signal
    // from hall sensor A
    encoderValue++;
}

```




Lampiran 2 **Pengujian Motor**



• **Data pengujian tanpa beban**

1. Pengujian setpoint 400 rpm.

Waktu (ms)	Kecepatan (rpm)		
0	0	1900	402,83
50	94,65	1950	398,82
100	207,59	2000	400,75
150	276,42	2050	401,71
200	302,41	2100	397,38
250	325,83	2150	401,55
300	343,64	2200	393,85
350	355,99	2250	399,63
400	367,86	2300	403,16
450	369,47	2350	404,44
500	381,98	2400	400,27
550	385,51	2450	401,23
600	392,57	2500	393,05
650	394,49	2550	398,34
700	389,84	2600	402,83
750	385,35	2650	405,4
800	398,18	2700	401,71
850	397,86	2750	400,91
900	397,54	2800	392,89
950	402,67	2850	394,97
1000	397,38	2900	398,5
1050	388,24	2950	402,35
1100	402,03	3000	399,47
1150	399,14	3050	400,11
1200	401,71	3100	394,97
1250	406,52	3150	399,95
1300	398,18	3200	400,11
1350	389,2	3250	404,28
1400	402,19	3300	397,38
1450	402,83	3350	398,34
1500	401,23	3400	404,12
1550	403,32	3450	399,63
1600	400,27	3500	398,34
1650	390,8	3550	402,83
1700	402,99	3600	400,11
1750	402,83	3650	390,64
1800	398,66	3700	402,19
1850	401,23	3750	402,19
		3800	398,82

3850	404,12
3900	397,38
3950	387,75
4000	402,19
4050	407,17
4100	398,98
4150	401,07
4200	402,35
4250	389,2
4300	400,91
4350	402,19
4400	401,71
4450	402,19
4500	404,12
4550	391,44
4600	402,19
4650	404,6
4700	400,43
4750	402,19
4800	395,78
4850	399,79
4900	401,07
4950	402,67
5000	396,26
5050	395,45
5100	395,13
5150	399,63
5200	398,66
5250	406,2
5300	399,14
5350	397,06
5400	392,89
5450	399,3
5500	399,95
5550	405,08
5600	402,83
5650	397,38
5700	397,06
5750	399,79
5800	397,22
5850	402,19
5900	402,19
5950	400,27

6000	394,17
6050	403,32
6100	398,18
6150	405,4
6200	405,72
6250	398,02
6300	399,63
6350	403,64
6400	398,66
6450	399,63
6500	402,99
6550	390,8
6600	398,5
6650	407,97
6700	402,83
6750	401,07
6800	403,96
6850	391,93
6900	401,07
6950	406,36
7000	402,51
7050	398,66
7100	402,83
7150	390
7200	394,01
7250	401,87
7300	401,07
7350	398,18
7400	401,39
7450	393,37
7500	396,74
7550	402,03
7600	403,8
7650	398,18
7700	399,95
7750	401,07
7800	396,74
7850	402,67
7900	402,35
7950	397,7
8000	390
8050	403,48
8100	399,3

8150	401,23
8200	402,99
8250	399,63
8300	394,33
8350	403,16
8400	400,59
8450	403,64
8500	407,81
8550	402,83
8600	390
8650	402,99
8700	400,91
8750	402,03
8800	405,56
8850	398,02
8900	391,93
8950	405,88
9000	400,91
9050	402,03
9100	405,08
9150	393,85
9200	397,86
9250	405,4
9300	403,8
9350	398,98
9400	399,3
9450	391,76
9500	398,18
9550	400,27
9600	403,48
9650	399,63
9700	401,07
9750	392,89
9800	394,81
9850	401,55
9900	405,4
9950	399,14
10000	400,43
10050	395,78
10100	398,82
10150	398,34
10200	404,76
10250	400,11

10300	400,59
10350	393,53
10400	396,58
10450	401,39
10500	403,16
10550	401,23
10600	401,07
10650	403,16
10700	400,43
10750	401,71
10800	405,08
10850	398,98
10900	388,24
10950	401,23
11000	402,19
11050	401,55
11100	405,4
11150	402,19
11200	391,44
11250	404,6
11300	402,83
11350	397,54
11400	401,55
11450	402,35
11500	387,11
11550	398,34
11600	404,28
11650	401,07
11700	402,51
11750	403,48
11800	387,11
11850	396,26
11900	402,35
11950	400,11
12000	399,95
12050	405,88
12100	401,39
12150	394,81
12200	405,08
12250	400,75
12300	399,14
12350	396,1
12400	397,22

12450	398,34
12500	403,48
12550	400,11
12600	395,61
12650	394,49
12700	403,16
12750	399,63
12800	403,96
12850	403,96
12900	399,47
12950	395,94
13000	400,59
13050	398,66
13100	403,32
13150	406,52
13200	399,3
13250	395,45
13300	404,76
13350	400,27
13400	403,96
13450	402,67
13500	390,32
13550	398,18
13600	404,92
13650	399,79
13700	398,02
13750	403,96
13800	389,84
13850	398,18
13900	405,24
13950	400,75
14000	396,1
14050	403,16
14100	391,76
14150	395,78
14200	407,33
14250	404,28
14300	397,38
14350	402,03
14400	391,6
14450	395,94
14500	403,96
14550	403,32

14600	394,65
14650	403,32
14700	396,26
14750	397,86
14800	405,56
14850	407,01
14900	400,11
14950	403,8
15000	403,8
15050	400,43
15100	403,32
15150	401,87
15200	395,45
15250	389,84
15300	402,51
15350	398,18
15400	403,48
15450	404,44
15500	400,27
15550	391,6
15600	403,64
15650	400,91
15700	399,47
15750	404,28
15800	400,59
15850	391,12
15900	400,75
15950	401,71
16000	399,79
16050	403,32
16100	398,82
16150	387,59
16200	403,48
16250	400,43
16300	396,9
16350	404,28
16400	401,39
16450	395,29
16500	401,07
16550	401,71
16600	394,97
16650	398,82
16700	395,45

16750	400,11
16800	404,6
16850	404,44
16900	399,79
16950	402,51
17000	393,85
17050	397,54
17100	405,24
17150	406,68
17200	398,98
17250	401,07
17300	396,26
17350	396,42
17400	402,67
17450	403,96
17500	399,47
17550	398,18
17600	395,78
17650	400,91
17700	402,67
17750	407,81
17800	402,99
17850	393,21
17900	402,67
17950	400,91
18000	397,22
18050	402,51
18100	399,14
18150	387,59
18200	400,59
18250	403,16
18300	397,86
18350	402,99
18400	400,11
18450	386,47
18500	400,11
18550	403,8
18600	397,86
18650	401,55
18700	403,16
18750	388,24
18800	402,03
18850	406,2

18900	400,91
18950	403,8
19000	401,39
19050	387,27
19100	399,79
19150	407,33
19200	400,75
19250	400,59
19300	407,97
19350	402,67
19400	402,83
19450	405,08
19500	400,43
19550	399,47
19600	396,58
19650	400,27
19700	399,3
19750	406,2
19800	401,55
19850	398,5
19900	395,45
19950	399,47
20000	397,38
20050	402,99
20100	401,71
20150	397,22
20200	390,8
20250	401,55
20300	398,34
20350	401,23
20400	402,19
20450	399,3
20500	393,05
20550	399,95
20600	398,98
20650	403,32
20700	404,44
20750	397,38
20800	399,14
20850	402,03
20900	393,21
20950	396,42
21000	402,35

21050	392,25	23200	400,11
21100	403,8	23250	399,95
21150	407,01	23300	402,99
21200	397,86	23350	399,63
21250	398,66	23400	392,25
21300	402,99	23450	404,28
21350	390,16	23500	405,24
21400	397,54	23550	405,24
21450	405,4	23600	405,4
21500	404,76	23650	401,39
21550	402,83	23700	396,42
21600	407,49	23750	400,91
21650	394,01	23800	400,11
21700	397,7	23850	399,3
21750	405,72	23900	402,67
21800	403,32	23950	392,73
21850	395,78	24000	396,42
21900	401,39	24050	401,07
21950	394,65	24100	402,83
22000	399,63	24150	401,39
22050	405,24	24200	399,79
22100	406,36	24250	393,85
22150	400,27	24300	400,75
22200	393,69	24350	403,64
22250	401,55	24400	404,92
22300	397,54	24450	403,96
22350	402,35	24500	400,75
22400	403,8	24550	393,05
22450	399,63	24600	400,11
22500	392,09	24650	398,34
22550	401,71	24700	400,75
22600	401,23	24750	401,07
22650	401,07	24800	396,42
22700	401,39	24850	390,8
22750	400,59	24900	399,3
22800	388,88	24950	400,11
22850	398,34	25000	403,16
22900	402,03	25050	400,59
22950	401,55	25100	398,82
23000	403,48	25150	398,66
23050	400,11	25200	400,43
23100	390,8	25250	398,5
23150	398,18	25300	400,75

25350	400,59	27350	403,16
25400	393,21	27400	399,95
25450	401,39	27450	391,76
25500	403,16	27500	400,59
25550	399,95	27550	398,34
25600	398,18	27600	400,59
25650	399,47	27650	405,08
25700	392,41	27700	402,99
25750	402,67	27750	392,89
25800	407,01	27800	403,8
25850	403,64	27850	402,83
25900	405,08	27900	402,19
25950	403,48	27950	403,48
26000	389,52	28000	398,66
26050	398,98	28050	402,51
26100	403,16	28100	404,12
26150	401,07	28150	401,23
26200	401,87	28200	399,95
26250	404,28	28250	403,48
26300	393,05	28300	392,25
26350	405,08	28350	399,47
26400	407,17	28400	403,96
26450	403,8	28450	401,39
26500	400,43	28500	397,22
26550	388,88	28550	402,19
26600	395,94	28600	395,45
26650	398,34	28650	397,38
26700	402,67	28700	398,18
26750	405,08	28750	400,91
26800	402,03	28800	399,63
26850	392,89	28850	397,38
26900	397,86	28900	390,8
26950	396,9	28950	400,11
27000	399,95	29000	402,03
27050	399,79	29050	402,99
27100	397,86	29100	400,91
27150	392,73	29150	400,59
27200	401,07	29200	396,26
27250	402,67	29250	0
27300	405,24		

2. Pengujian setpoint 450 rpm.

Waktu (ms)	Kecepatan (rpm)	1950	453,05
0	0	2000	453,85
50	105,56	2050	449,36
100	228,13	2100	452,73
150	304,33	2150	450,64
200	347,97	2200	439,57
250	367,7	2250	452,89
300	386,63	2300	453,21
350	400,43	2350	454,17
400	407,97	2400	454,49
450	415,83	2450	449,52
500	427,38	2500	452,57
550	431,07	2550	448,4
600	443,74	2600	449,68
650	441,98	2650	453,53
700	447,11	2700	451,44
750	439,41	2750	444,22
800	445,03	2800	455,29
850	449,52	2850	451,76
900	450,64	2900	452,65
950	449,52	2950	450,8
1000	452,41	3000	446,63
1050	450,48	3050	441,18
1100	444,71	3100	448,07
1150	451,6	3150	451,12
1200	448,56	3200	452,61
1250	446,15	3250	450,48
1300	442,78	3300	448,24
1350	445,03	3350	441,02
1400	449,2	3400	444,87
1450	454,17	3450	452,41
1500	447,91	3500	453,69
1550	454,01	3550	449,52
1600	442,62	3600	455,13
1650	448,07	3650	440,53
1700	453,05	3700	450,8
1750	450,32	3750	454,81
1800	449,68	3800	447,91
1850	453,37	3850	453,37
1900	440,21	3900	445,67

3950	446,47	6100	459,47
4000	456,42	6150	450,16
4050	457,38	6200	452,61
4100	449,04	6250	440,21
4150	453,85	6300	447,59
4200	435,88	6350	458,82
4250	445,99	6400	453,37
4300	456,26	6450	454,01
4350	445,51	6500	457,38
4400	449,52	6550	436,68
4450	453,37	6600	450,16
4500	441,02	6650	450,96
4550	455,61	6700	447,91
4600	453,69	6750	451,12
4650	450,64	6800	450,16
4700	457,54	6850	447,43
4750	447,43	6900	452,09
4800	438,77	6950	446,15
4850	454,49	7000	450,8
4900	447,11	7050	451,28
4950	451,12	7100	436,36
5000	452,41	7150	450,96
5050	448,56	7200	453,21
5100	444,87	7250	449,52
5150	450,48	7300	452,09
5200	447,75	7350	449,2
5250	452,61	7400	438,77
5300	448,4	7450	455,13
5350	447,75	7500	447,59
5400	454,01	7550	452,73
5450	447,43	7600	454,33
5500	454,49	7650	446,47
5550	455,45	7700	442,78
5600	446,31	7750	449,84
5650	444,06	7800	451,44
5700	449,68	7850	459,63
5750	450,48	7900	451,12
5800	457,54	7950	452,57
5850	443,9	8000	444,55
5900	448,88	8050	447,91
5950	447,75	8100	448,24
6000	446,79	8150	451,93
6050	455,78	8200	448,56

8250	442,14	10400	451,12
8300	451,6	10450	455,61
8350	450,16	10500	450,96
8400	458,02	10550	449,04
8450	450,32	10600	443,9
8500	450,96	10650	446,31
8550	444,71	10700	450,16
8600	448,56	10750	454,65
8650	454,01	10800	449,04
8700	455,13	10850	451,93
8750	448,4	10900	439,89
8800	452,57	10950	443,9
8850	438,45	11000	455,29
8900	446,47	11050	450,64
8950	453,85	11100	446,95
9000	450	11150	457,86
9050	451,12	11200	450,48
9100	454,33	11250	450,64
9150	436,2	11300	453,37
9200	450	11350	443,74
9250	453,05	11400	450,64
9300	449,84	11450	439,89
9350	454,17	11500	445,03
9400	450,8	11550	455,13
9450	437,81	11600	451,44
9500	451,6	11650	450,48
9550	449,84	11700	454,97
9600	454,33	11750	439,09
9650	454,49	11800	450
9700	445,99	11850	455,94
9750	455,45	11900	453,21
9800	450,8	11950	456,26
9850	448,24	12000	451,12
9900	454,49	12050	437,65
9950	450,64	12100	452,73
10000	442,14	12150	453,85
10050	455,13	12200	453,21
10100	446,31	12250	457,06
10150	453,85	12300	449,52
10200	453,05	12350	441,5
10250	448,72	12400	452,09
10300	444,87	12450	448,88
10350	451,28	12500	452,25

12550	451,93
12600	436,04
12650	450,96
12700	452,25
12750	449,2
12800	455,13
12850	449,2
12900	437,65
12950	452,89
13000	447,91
13050	452,57
13100	454,01
13150	445,03
13200	441,82
13250	451,6
13300	449,04
13350	455,13
13400	450,96
13450	453,05
13500	442,3
13550	447,75
13600	454,17
13650	456,26
13700	452,09
13750	456,58
13800	445,67
13850	452,89
13900	456,26
13950	449,68
14000	443,9
14050	450,8
14100	447,75
14150	452,73
14200	454,01
14250	453,53
14300	455,13
14350	440,05
14400	449,36
14450	451,76
14500	447,11
14550	449,04
14600	452,09
14650	442,14

14700	452,89
14750	449,52
14800	449,84
14850	451,28
14900	445,67
14950	440,7
15000	454,01
15050	448,88
15100	453,37
15150	450,64
15200	446,31
15250	442,3
15300	450
15350	446,63
15400	454,97
15450	452,25
15500	450,32
15550	453,85
15600	448,24
15650	449,04
15700	453,53
15750	451,12
15800	445,35
15850	451,6
15900	454,33
15950	455,94
16000	450,48
16050	452,41
16100	442,46
16150	449,36
16200	454,49
16250	452,25
16300	449,84
16350	454,65
16400	439,89
16450	449,52
16500	452,89
16550	449,2
16600	450,64
16650	453,37
16700	437,49
16750	449,84
16800	450,16

16850	446,95
16900	456,74
16950	442,14
17000	447,59
17050	455,13
17100	449,68
17150	450,16
17200	452,73
17250	438,77
17300	453,37
17350	451,44
17400	451,12
17450	457,38
17500	451,12
17550	440,37
17600	453,37
17650	452,73
17700	456,58
17750	456,26
17800	449,68
17850	443,58
17900	452,57
17950	446,15
18000	455,29
18050	451,76
18100	449,04
18150	442,46
18200	445,83
18250	450,64
18300	455,29
18350	449,52
18400	450
18450	452,25
18500	445,99
18550	449,2
18600	448,88
18650	446,95
18700	441,98
18750	447,59
18800	451,76
18850	455,78
18900	449,68
18950	451,6

19000	440,37
19050	443,26
19100	451,93
19150	451,93
19200	451,12
19250	455,13
19300	439,57
19350	451,76
19400	454,01
19450	448,56
19500	452,89
19550	454,65
19600	443,26
19650	455,29
19700	453,21
19750	451,93
19800	455,45
19850	446,63
19900	447,75
19950	452,73
20000	450,8
20050	454,97
20100	453,53
20150	441,34
20200	451,93
20250	449,68
20300	449,84
20350	451,76
20400	450,32
20450	441,82
20500	454,49
20550	451,28
20600	450,64
20650	451,44
20700	448,56
20750	440,21
20800	449,36
20850	451,44
20900	452,89
20950	450,48
21000	448,72
21050	440,37
21100	451,44

21150	453,05	23300	452,73
21200	452,73	23350	445,35
21250	452,57	23400	452,41
21300	444,87	23450	454,01
21350	450,48	23500	456,1
21400	455,78	23550	450,16
21450	455,13	23600	450,8
21500	451,76	23650	443,26
21550	450	23700	450,32
21600	439,89	23750	452,73
21650	448,4	23800	455,94
21700	454,97	23850	453,85
21750	450,8	23900	453,85
21800	448,72	23950	442,62
21850	450,16	24000	450,16
21900	440,53	24050	448,88
21950	450	24100	450,32
22000	454,97	24150	449,84
22050	453,21	24200	450,8
22100	454,17	24250	451,12
22150	451,93	24300	448,88
22200	441,18	24350	449,68
22250	449,84	24400	445,03
22300	452,25	24450	445,99
22350	450,48	24500	439,09
22400	448,4	24550	449,2
22450	450,48	24600	454,01
22500	438,29	24650	453,85
22550	448,4	24700	450,32
22600	450,48	24750	451,6
22650	452,41	24800	442,3
22700	451,12	24850	448,88
22750	447,27	24900	449,68
22800	448,24	24950	450,64
22850	451,28	25000	452,57
22900	450,48	25050	452,73
22950	450,16	25100	441,98
23000	447,43	25150	453,69
23050	441,82	25200	455,94
23100	451,93	25250	451,76
23150	451,28	25300	453,21
23200	450,48	25350	450,32
23250	451,76	25400	441,34

25450	452,57
25500	454,33
25550	453,85
25600	453,05
25650	441,02
25700	451,6
25750	449,2
25800	449,52
25850	452,09
25900	451,12
25950	440,37

26000	451,44
26050	450,64
26100	450
26150	451,76
26200	450,32
26250	441,82
26300	450
26350	450,96
26400	453,53
26450	0

3. Pengujian setpoint 500 rpm

Waktu (ms)	Kecepatan (rpm)
0	0
50	128,11
100	264,16
150	347,35
200	380,76
250	407,51
300	426,32
350	447,24
400	458,76
450	467,03
500	467,68
550	478,22
600	490,22
650	494,59
700	496,7
750	503,35
800	490,51
850	496,38
900	499,14
950	499,16
1000	503,84
1050	496,38
1100	499,27
1150	501,24
1200	500,27
1250	503,35
1300	493,62
1350	498,81
1400	495,41

1450	497,51
1500	503,68
1550	495,24
1600	501,24
1650	487,78
1700	498,32
1750	501,08
1800	495,89
1850	501,57
1900	497,68
1950	486
2000	500,59
2050	494,92
2100	499,14
2150	498,32
2200	498,97
2250	493,95
2300	498
2350	503,84
2400	498,49
2450	500,92
2500	501,73
2550	485,68
2600	503,68
2650	500,43
2700	499,62
2750	500,59
2800	481,95
2850	498,16
2900	497,19

2950	499,78	5100	500,43
3000	504,16	5150	482,59
3050	499,81	5200	493,3
3100	499,65	5250	500,59
3150	499,3	5300	489,41
3200	498,32	5350	501,73
3250	503,35	5400	492,81
3300	493,46	5450	482,11
3350	503,35	5500	505,46
3400	484,54	5550	490,05
3450	496,22	5600	499,62
3500	503,84	5650	497,03
3550	490,05	5700	495,08
3600	504,81	5750	504,65
3650	492,65	5800	492,81
3700	485,19	5850	500,76
3750	504	5900	497,84
3800	490,38	5950	493,46
3850	503,68	6000	494,76
3900	493,78	6050	494,11
3950	497,68	6100	505,14
4000	492,16	6150	498,32
4050	494,43	6200	494,92
4100	503,35	6250	501,41
4150	496,7	6300	480,81
4200	499,46	6350	499,62
4250	504,97	6400	498
4300	495,41	6450	494,27
4350	504,16	6500	503,51
4400	497,68	6550	491,35
4450	499,46	6600	488,59
4500	502,86	6650	496,38
4550	480,81	6700	490,22
4600	501,73	6750	502,22
4650	497,19	6800	489,08
4700	493,95	6850	497,35
4750	503,51	6900	485,68
4800	489,08	6950	491,03
4850	489,41	7000	501,57
4900	493,78	7050	487,3
4950	492,65	7100	495,89
5000	502,05	7150	482,92
5050	489,41	7200	491,51

7250	501,57	9400	500,11
7300	491,35	9450	492
7350	499,46	9500	492
7400	499,46	9550	492,49
7450	483,08	9600	497,84
7500	502,7	9650	503,35
7550	495,41	9700	492,16
7600	499,78	9750	500,76
7650	500,59	9800	484,7
7700	495,89	9850	493,95
7750	495,24	9900	500,76
7800	492,49	9950	491,19
7850	500,59	10000	500,92
7900	503,51	10050	493,3
7950	495,73	10100	490,05
8000	504,49	10150	500,43
8050	482,27	10200	490,22
8100	497,51	10250	496,54
8150	499,46	10300	492,32
8200	492,81	10350	482,11
8250	501,24	10400	501,41
8300	493,3	10450	490,7
8350	485,84	10500	495,57
8400	498,16	10550	494,11
8450	491,19	10600	489,24
8500	502,7	10650	490,38
8550	489,89	10700	486,97
8600	493,78	10750	494,92
8650	499,62	10800	494,59
8700	491,19	10850	490,54
8750	502,7	10900	499,62
8800	489,73	10950	482,27
8850	497,68	11000	498,49
8900	488,92	11050	495,57
8950	489,57	11100	493,78
9000	502,86	11150	500,43
9050	491,51	11200	493,78
9100	496,86	11250	487,46
9150	499,95	11300	498,65
9200	481,78	11350	492,81
9250	507,41	11400	502,38
9300	491,35	11450	494,11
9350	495,08	11500	486,65

11550	498,97	13700	492,16
11600	491,84	13750	489,89
11650	502,05	13800	497,19
11700	493,62	13850	499,95
11750	496,05	13900	495,73
11800	486,97	13950	492,65
11850	488,76	14000	490,05
11900	497,35	14050	496,22
11950	492,16	14100	489,41
12000	492,16	14150	499,59
12050	499,46	14200	494,76
12100	480,32	14250	493,78
12150	496,22	14300	496,38
12200	492,32	14350	491,84
12250	490,38	14400	494,92
12300	497,68	14450	494,27
12350	499,76	14500	493,14
12400	499,49	14550	500,43
12450	492,32	14600	495,57
12500	491,35	14650	496,54
12550	498,16	14700	488,11
12600	493,3	14750	491,84
12650	497,35	14800	500,11
12700	499,65	14850	494,59
12750	498,32	14900	495,24
12800	500,92	14950	497,35
12850	493,62	15000	485,84
12900	491,68	15050	499,78
12950	494,43	15100	496,05
13000	495,24	15150	495,73
13050	499,95	15200	496,22
13100	495,41	15250	492,32
13150	502,7	15300	487,78
13200	497,35	15350	493,46
13250	487,3	15400	492,81
13300	499,14	15450	498,16
13350	491,68	15500	489,08
13400	501,08	15550	494,27
13450	494,76	15600	484,38
13500	495,73	15650	488,76
13550	488,92	15700	495,08
13600	489,41	15750	490,38
13650	493,62	15800	492

15850	484,22	18000	501,24
15900	491,51	18050	500,27
15950	496,54	18100	503,35
16000	488,43	18150	493,62
16050	493,14	18200	498,81
16100	496,05	18250	495,41
16150	480,49	18300	497,51
16200	497,51	18350	503,68
16250	494,76	18400	495,24
16300	494,76	18450	501,24
16350	500,92	18500	487,78
16400	491,84	18550	498,32
16450	487,3	18600	501,08
16500	494,76	18650	495,89
16550	496,05	18700	501,57
16600	499,95	18750	497,68
16650	495,08	18800	486
16700	496,22	18850	500,59
16750	485,03	18900	494,92
16800	493,78	18950	499,14
16850	497,68	19000	498,32
16900	493,46	19050	498,97
16950	494,76	19100	493,95
17000	492,81	19150	498
17050	482,27	19200	503,84
17100	494,76	19250	498,49
17150	491,68	19300	500,92
17200	494,11	19350	501,73
17250	492,65	19400	485,68
17300	492,97	19450	503,68
17350	496,05	19500	500,43
17400	491,35	19550	499,62
17450	493,14	19600	500,59
17500	492,81	19650	481,95
17550	484,7	19700	498,16
17600	503,35	19750	497,19
17650	485,51	19800	499,78
17700	496,38	19850	504,16
17750	499,14	19900	492,81
17800	498,16	19950	492,65
17850	503,84	20000	493,3
17900	496,38	20050	498,32
17950	499,27	20100	503,35

20150	493,46	22300	482,11
20200	503,35	22350	505,46
20250	484,54	22400	490,05
20300	496,22	22450	499,62
20350	503,84	22500	497,03
20400	490,05	22550	495,08
20450	504,81	22600	504,65
20500	492,65	22650	492,81
20550	485,19	22700	500,76
20600	504	22750	497,84
20650	490,38	22800	493,46
20700	503,68	22850	494,76
20750	493,78	22900	494,11
20800	497,68	22950	505,14
20850	492,16	23000	498,32
20900	494,43	23050	494,92
20950	503,35	23100	501,41
21000	496,7	23150	480,81
21050	499,46	23200	499,62
21100	504,97	23250	498
21150	495,41	23300	494,27
21200	504,16	23350	503,51
21250	497,68	23400	491,35
21300	499,46	23450	488,59
21350	502,86	23500	496,38
21400	480,81	23550	490,22
21450	501,73	23600	502,22
21500	497,19	23650	489,08
21550	493,95	23700	497,35
21600	503,51	23750	485,68
21650	489,08	23800	491,03
21700	489,41	23850	501,57
21750	493,78	23900	487,3
21800	492,65	23950	495,89
21850	502,05	24000	482,92
21900	489,41	24050	491,51
21950	500,43	24100	501,57
22000	482,59	24150	491,35
22050	493,3	24200	499,46
22100	500,59	24250	499,46
22150	489,41	24300	499,08
22200	501,73	24350	502,7
22250	492,81	24400	0

- **Data Pengujian dengan Beban**

1. Setpoint 400 rpm

Waktu (ms)	Kecepatan (rpm)		
0	0	1950	406,81
50	95,27	2000	400,05
100	202,25	2050	395,77
150	277,75	2100	402,53
200	317,97	2150	395,77
250	330,66	2200	395,44
300	340,38	2250	401,54
350	356,87	2300	404,18
400	358,02	2350	393,3
450	372,2	2400	398,74
500	386,54	2450	397,09
550	395,44	2500	398,24
600	391,48	2550	404,84
650	389,51	2600	406,98
700	390	2650	396,1
750	393,13	2700	400,05
800	396,92	2750	398,24
850	404,18	2800	399,56
900	397,09	2850	399,56
950	399,56	2900	406,32
1000	395,44	2950	400,38
1050	399,07	3000	389,01
1100	399,07	3050	405,82
1150	406,32	3100	402,03
1200	405,16	3150	398,08
1250	399,07	3200	401,37
1300	393,63	3250	403,02
1350	402,36	3300	387,53
1400	399,4	3350	399,4
1450	405,16	3400	409,45
1500	407,8	3450	401,7
1550	400,38	3500	404,34
1600	401,21	3550	406,48
1650	403,35	3600	391,32
1700	396,1	3650	398,74
1750	396,59	3700	405
1800	406,98	3750	402,36
1850	386,87	3800	397,58
1900	398,57	3850	404,18
		3900	391,15

3950	396,59	6100	401,04
4000	405,82	6150	389,84
4050	400,05	6200	395,93
4100	399,07	6250	397,58
4150	406,48	6300	398,24
4200	390,82	6350	405,33
4250	395,11	6400	406,48
4300	402,03	6450	396,76
4350	406,32	6500	388,85
4400	399,4	6550	403,19
4450	403,68	6600	397,09
4500	404,84	6650	401,37
4550	395,6	6700	403,85
4600	396,43	6750	396,59
4650	405,33	6800	389,18
4700	400,05	6850	403,19
4750	390,82	6900	404,01
4800	404,84	6950	399,23
4850	400,22	7000	408,63
4900	398,08	7050	404,51
4950	405,49	7100	385,88
5000	398,57	7150	401,21
5050	386,7	7200	402,2
5100	404,34	7250	397,91
5150	401,37	7300	404,34
5200	399,07	7350	397,09
5250	404,01	7400	395,77
5300	402,69	7450	406,15
5350	390	7500	406,48
5400	401,37	7550	393,79
5450	405,82	7600	397,75
5500	395,44	7650	400,55
5550	403,85	7700	395,6
5600	406,15	7750	400,71
5650	393,3	7800	409,78
5700	400,88	7850	403,35
5750	404,18	7900	400,88
5800	407,64	7950	398,08
5850	395,44	8000	401,87
5900	402,53	8050	398,9
5950	401,87	8100	406,81
6000	393,3	8150	403,35
6050	404,51	8200	395,93

8250	394,95	10400	394,45
8300	404,67	10450	397,25
8350	398,24	10500	405
8400	401,7	10550	391,48
8450	405,49	10600	395,44
8500	397,75	10650	404,18
8550	392,31	10700	400,22
8600	404,51	10750	399,4
8650	402,2	10800	406,32
8700	396,59	10850	392,97
8750	404,18	10900	397,25
8800	398,74	10950	403,02
8850	398,08	11000	403,85
8900	403,35	11050	398,41
8950	394,78	11100	402,03
9000	393,63	11150	390,49
9050	402,69	11200	394,95
9100	393,63	11250	401,87
9150	394,12	11300	406,15
9200	402,2	11350	400,55
9250	405	11400	400,55
9300	392,14	11450	396,92
9350	403,68	11500	399,89
9400	393,3	11550	397,75
9450	396,43	11600	402,36
9500	405,49	11650	399,89
9550	404,34	11700	386,54
9600	401,04	11750	401,21
9650	394,78	11800	402,86
9700	398,74	11850	398,24
9750	395,93	11900	404,84
9800	400,05	11950	400,05
9850	410,11	12000	388,19
9900	399,4	12050	404,18
9950	399,89	12100	406,81
10000	398,9	12150	406,65
10050	402,86	12200	407,31
10100	404,01	12250	406,98
10150	409,45	12300	394,29
10200	409,78	12350	400,88
10250	396,59	12400	406,15
10300	402,2	12450	401,37
10350	402,69	12500	399,56

12550	399,73	14700	400,55
12600	391,98	14750	399,73
12650	396,26	14800	404,51
12700	405,49	14850	396,1
12750	405,66	14900	390,49
12800	398,9	14950	405,82
12850	404,67	15000	401,54
12900	396,1	15050	401,87
12950	398,9	15100	406,48
13000	402,69	15150	403,19
13050	405,82	15200	390,33
13100	398,41	15250	402,53
13150	400,22	15300	401,04
13200	408,96	15350	397,91
13250	400,22	15400	404,01
13300	399,56	15450	401,87
13350	400,71	15500	388,02
13400	401,04	15550	402,69
13450	387,03	15600	408,46
13500	400,38	15650	400,38
13550	401,54	15700	401,54
13600	399,73	15750	405,66
13650	402,86	15800	386,37
13700	408,46	15850	393,3
13750	390,16	15900	406,98
13800	400,22	15950	399,56
13850	405,99	16000	401,21
13900	398,08	16050	401,54
13950	398,41	16100	405,66
14000	402,2	16150	400,88
14050	388,85	16200	407,47
14100	397,25	16250	404,84
14150	406,32	16300	397,75
14200	405,16	16350	393,3
14250	402,36	16400	403,85
14300	406,48	16450	397,91
14350	397,09	16500	402,36
14400	394,78	16550	408,46
14450	402,69	16600	401,04
14500	405,33	16650	393,46
14550	402,53	16700	402,36
14600	404,84	16750	401,04
14650	405,66	16800	398,24

16850	405,33	19000	387,2
16900	402,86	19050	393,96
16950	383,9	19100	399,73
17000	401,87	19150	394,78
17050	398,74	19200	394,29
17100	398,57	19250	391,81
17150	400,38	19300	393,63
17200	403,68	19350	393,96
17250	384,89	19400	403,85
17300	396,92	19450	396,76
17350	405,66	19500	393,46
17400	399,07	19550	390,16
17450	401,21	19600	398,24
17500	405	19650	395,44
17550	398,24	19700	400,71
17600	396,26	19750	401,87
17650	402,2	19800	393,79
17700	397,42	19850	389,18
17750	390,82	19900	399,4
17800	394,12	19950	397,25
17850	400,71	20000	399,73
17900	397,75	20050	400,88
17950	408,3	20100	394,95
18000	405,82	20150	387,36
18050	401,37	20200	400,22
18100	395,27	20250	394,95
18150	403,85	20300	395,93
18200	398,08	20350	404,84
18250	403,52	20400	388,19
18300	404,01	20450	391,15
18350	394,12	20500	405,82
18400	391,81	20550	402,86
18450	405,82	20600	397,75
18500	400,22	20650	401,04
18550	402,03	20700	389,51
18600	406,65	20750	391,48
18650	399,56	20800	403,68
18700	388,19	20850	407,47
18750	401,54	20900	398,74
18800	402,69	20950	406,81
18850	397,42	21000	397,42
18900	401,21	21050	396,1
18950	397,91	21100	397,75

21150	405,66	23300	391,65
21200	398,24	23350	398,74
21250	396,43	23400	399,89
21300	391,15	23450	394,62
21350	400,22	23500	403,35
21400	397,58	23550	404,67
21450	405,82	23600	384,23
21500	400,38	23650	389,01
21550	393,79	23700	400,05
21600	392,14	23750	391,32
21650	399,56	23800	391,81
21700	394,29	23850	399,56
21750	402,86	23900	388,19
21800	405,82	23950	391,65
21850	398,08	24000	398,24
21900	402,53	24050	400,55
21950	402,86	24100	397,58
22000	396,76	24150	399,73
22050	392,47	24200	396,43
22100	393,63	24250	395,77
22150	390,16	24300	394,62
22200	394,12	24350	400,38
22250	397,09	24400	403,19
22300	397,91	24450	394,78
22350	393,46	24500	386,7
22400	396,76	24550	397,75
22450	388,19	24600	394,12
22500	398,08	24650	397,58
22550	404,51	24700	401,21
22600	401,21	24750	389,84
22650	388,85	24800	401,87
22700	393,63	24850	405,66
22750	393,13	24900	396,92
22800	400,88	24950	393,63
22850	400,05	25000	403,52
22900	402,53	25050	391,81
22950	394,95	25100	391,48
23000	395,93	25150	398,08
23050	392,14	25200	397,91
23100	393,63	25250	395,27
23150	396,59	25300	401,87
23200	406,15	25350	396,76
23250	397,75	25400	406,98

25450	406,48	27600	400,55
25500	403,35	27650	399,07
25550	398,57	27700	408,79
25600	399,56	27750	409,62
25650	395,11	27800	410,27
25700	403,35	27850	412,75
25750	410,27	27900	408,13
25800	405,82	27950	397,42
25850	400,38	28000	401,7
25900	398,74	28050	404,67
25950	391,48	28100	391,48
26000	393,96	28150	382,58
26050	391,98	28200	383,57
26100	399,23	28250	374,51
26150	396,59	28300	393,63
26200	394,78	28350	401,21
26250	399,07	28400	402,86
26300	400,22	28450	405,49
26350	402,36	28500	393,46
26400	402,2	28550	387,86
26450	404,34	28600	399,4
26500	390,49	28650	406,15
26550	393,79	28700	401,21
26600	401,54	28750	399,56
26650	401,37	28800	399,23
26700	400,88	28850	391,81
26750	398,9	28900	399,4
26800	389,34	28950	395,93
26850	397,42	29000	392,97
26900	402,86	29050	385,22
26950	401,21	29100	387,53
27000	390	29150	395,6
27050	400,38	29200	389,51
27100	393,79	29250	394,12
27150	386,37	29300	401,87
27200	398,9	29350	391,81
27250	405,16	29400	378,79
27300	396,76	29450	397,25
27350	398,24	29500	392,8
27400	396,76	29550	389,18
27450	397,42	29600	395,27
27500	398,41	29650	396,92
27550	404,51	29700	375,99

29750	394,12
29800	395,11
29850	385,22
29900	390,99
29950	399,4
30000	377,47
30050	382,42
30100	390,66
30150	389,01
30200	382,25
30250	394,29
30300	387,53
30350	385,05
30400	384,23
30450	384,89
30500	370,55
30550	372,86
30600	379,29
30650	380,27
30700	378,13
30750	379,95
30800	375,82
30850	365,27
30900	376,81
30950	375,16

31000	369,07
31050	365,6
31100	367,91
31150	359,84
31200	358,68
31250	360,49
31300	361,65
31350	351,43
31400	360,33
31450	350,44
31500	353,57
31550	345
31600	352,42
31650	354,56
31700	348,13
31750	341,54
31800	353,74
31850	357,53
31900	348,96
31950	354,89
32000	351,92
32050	342,69
32100	337,09
32150	343,35
32200	335,93

2. Pengujian dengan setpoint 450 rpm

Waktu (ms)	Kecepatan (rpm)
0	0
50	110,11
100	230,11
150	300
200	348,79
250	376,48
300	392,8
350	398,57
400	416,04
450	421,32
500	427,25
550	440,77
600	442,42

650	435,33
700	439,29
750	443,74
800	450,33
850	456,76
900	448,02
950	448,35
1000	445,71
1050	446,37
1100	450
1150	456,76
1200	450,16
1250	454,78
1300	446,37

1350	446,54	3500	455,6
1400	453,96	3550	456,1
1450	454,12	3600	446,7
1500	446,04	3650	455,93
1550	458,08	3700	450,49
1600	437,8	3750	446,54
1650	449,34	3800	454,45
1700	457,09	3850	444,73
1750	449,51	3900	439,95
1800	452,8	3950	455,27
1850	452,47	4000	444,4
1900	436,81	4050	451,65
1950	453,63	4100	453,13
2000	454,95	4150	448,52
2050	450	4200	445,71
2100	457,42	4250	455,93
2150	457,09	4300	452,31
2200	439,45	4350	457,91
2250	454,78	4400	455,6
2300	448,19	4450	450,33
2350	446,04	4500	443,74
2400	458,57	4550	445,71
2450	440,44	4600	450
2500	452,31	4650	454,29
2550	456,1	4700	447,03
2600	449,01	4750	450,16
2650	453,96	4800	444,4
2700	454,45	4850	446,7
2750	436,65	4900	454,95
2800	451,65	4950	452,31
2850	453,96	5000	447,03
2900	448,02	5050	444,73
2950	455,44	5100	454,12
3000	446,04	5150	449,67
3050	437,8	5200	457,09
3100	453,3	5250	446,54
3150	450,82	5300	446,21
3200	452,47	5350	446,7
3250	456,43	5400	447,53
3300	445,55	5450	451,81
3350	439,95	5500	456,92
3400	452,97	5550	446,04
3450	446,04	5600	452,31

5650	443,74	7800	445,88
5700	446,37	7850	457,91
5750	458,41	7900	448,68
5800	451,81	7950	440,77
5850	457,91	8000	455,11
5900	450,49	8050	448,35
5950	434,34	8100	449,18
6000	448,19	8150	460,22
6050	456,76	8200	448,19
6100	451,15	8250	443,08
6150	453,46	8300	458,41
6200	453,3	8350	449,34
6250	435,66	8400	455,77
6300	450,99	8450	458,57
6350	452,97	8500	444,56
6400	451,32	8550	444,23
6450	457,25	8600	450
6500	453,13	8650	445,55
6550	445,38	8700	457,58
6600	453,63	8750	450
6650	445,55	8800	446,87
6700	450,66	8850	446,21
6750	456,59	8900	447,36
6800	438,96	8950	449,01
6850	450,82	9000	455,44
6900	453,79	9050	446,21
6950	445,22	9100	452,14
7000	449,67	9150	444,23
7050	451,65	9200	443,24
7100	434,67	9250	452,47
7150	453,79	9300	454,78
7200	448,68	9350	444,56
7250	445,38	9400	445,38
7300	456,26	9450	447,69
7350	447,03	9500	447,2
7400	439,12	9550	464,18
7450	460,22	9600	443,57
7500	450	9650	448,19
7550	451,15	9700	446,87
7600	459,73	9750	446,7
7650	446,37	9800	446,87
7700	446,21	9850	456,76
7750	453,3	9900	446,37

9950	456,43	12100	455,93
10000	448,68	12150	454,95
10050	448,52	12200	458,24
10100	459,07	12250	455,11
10150	454,12	12300	453,13
10200	448,85	12350	451,15
10250	459,07	12400	452,97
10300	442,75	12450	450,16
10350	451,15	12500	451,98
10400	458,41	12550	455,44
10450	447,53	12600	442,09
10500	450,33	12650	454,29
10550	455,44	12700	453,3
10600	438,3	12750	451,81
10650	449,51	12800	456,59
10700	458,57	12850	449,51
10750	446,54	12900	439,12
10800	457,25	12950	454,95
10850	451,65	13000	453,46
10900	441,76	13050	450,99
10950	453,13	13100	454,78
11000	450,82	13150	451,48
11050	448,52	13200	442,75
11100	453,3	13250	455,77
11150	435,82	13300	453,3
11200	446,87	13350	453,63
11250	454,12	13400	458,9
11300	448,85	13450	451,32
11350	452,31	13500	444,07
11400	455,6	13550	455,27
11450	438,13	13600	450,99
11500	450,33	13650	454,45
11550	454,29	13700	456,59
11600	448,85	13750	439,62
11650	456,1	13800	453,63
11700	456,76	13850	457,91
11750	440,27	13900	453,63
11800	454,95	13950	452,97
11850	449,51	14000	452,97
11900	451,65	14050	443,41
11950	456,43	14100	452,31
12000	451,81	14150	455,27
12050	445,05	14200	456,1

14250	452,31	16400	439,78
14300	453,13	16450	451,81
14350	442,25	16500	456,1
14400	449,51	16550	448,19
14450	449,84	16600	454,29
14500	453,46	16650	451,81
14550	453,96	16700	448,85
14600	450,66	16750	453,13
14650	441,1	16800	449,51
14700	449,67	16850	446,87
14750	452,64	16900	450,16
14800	452,31	16950	441,43
14850	452,47	17000	449,34
14900	450,82	17050	452,8
14950	441,92	17100	450,66
15000	449,67	17150	450,99
15050	453,63	17200	451,48
15100	452,47	17250	439,12
15150	451,32	17300	447,86
15200	450,66	17350	450,66
15250	449,67	17400	448,52
15300	447,53	17450	451,48
15350	449,84	17500	450,82
15400	450,82	17550	433,85
15450	448,52	17600	449,34
15500	441,43	17650	449,67
15550	449,01	17700	451,15
15600	448,19	17750	453,96
15650	454,45	17800	449,51
15700	450,99	17850	438,13
15750	453,79	17900	450,16
15800	444,23	17950	450,99
15850	448,19	18000	452,14
15900	453,63	18050	454,95
15950	453,13	18100	439,29
16000	451,15	18150	448,68
16050	451,98	18200	452,64
16100	441,26	18250	447,69
16150	442,91	18300	450
16200	450,49	18350	450,49
16250	450,16	18400	435,99
16300	455,44	18450	450
16350	453,46	18500	449,84

18550	447,53	20700	451,65
18600	452,64	20750	441,76
18650	448,85	20800	443,24
18700	436,65	20850	448,85
18750	450,82	20900	451,15
18800	451,32	20950	444,73
18850	450,49	21000	446,04
18900	454,45	21050	443,57
18950	449,51	21100	444,4
19000	440,93	21150	447,03
19050	449,18	21200	444,23
19100	445,88	21250	448,02
19150	450,66	21300	438,96
19200	448,68	21350	437,64
19250	447,69	21400	447,53
19300	440,6	21450	452,47
19350	441,92	21500	446,04
19400	450	21550	450,33
19450	455,11	21600	438,96
19500	449,51	21650	443,41
19550	447,53	21700	453,79
19600	451,48	21750	450
19650	445,71	21800	451,81
19700	451,98	21850	455,77
19750	453,46	21900	434,18
19800	450,16	21950	445,88
19850	444,4	22000	452,47
19900	449,34	22050	447,69
19950	448,02	22100	454,29
20000	453,63	22150	455,27
20050	449,67	22200	432,36
20100	445,05	22250	450
20150	438,79	22300	451,65
20200	450	22350	445,05
20250	445,55	22400	450,49
20300	451,81	22450	436,81
20350	442,91	22500	443,9
20400	446,04	22550	454,29
20450	439,95	22600	449,01
20500	440,11	22650	447,2
20550	448,68	22700	455,27
20600	453,79	22750	440,6
20650	446,54	22800	446,04

22850	453,96	25000	428,9
22900	453,13	25050	430,71
22950	450,49	25100	413,9
23000	447,53	25150	427,42
23050	429,73	25200	433,52
23100	435,33	25250	419,01
23150	447,53	25300	421,81
23200	445,71	25350	421,32
23250	444,89	25400	407,8
23300	446,37	25450	414,07
23350	429,56	25500	422,97
23400	447,36	25550	414,23
23450	449,18	25600	415,05
23500	440,93	25650	414,4
23550	446,04	25700	412,58
23600	445,88	25750	417,69
23650	427,58	25800	425,11
23700	444,23	25850	424,78
23750	446,04	25900	423,63
23800	447,53	25950	423,79
23850	444,23	26000	423,79
23900	441,92	26050	421,15
23950	436,48	26100	425,27
24000	438,3	26150	422,8
24050	437,31	26200	421,98
24100	445,55	26250	411,43
24150	442,58	26300	418,35
24200	428,9	26350	410,77
24250	437,97	26400	414,23
24300	434,51	26450	406,15
24350	426,1	26500	411,43
24400	427,91	26550	399,23
24450	429,4	26600	410,77
24500	412,91	26650	412,42
24550	428,9	26700	411,59
24600	429,07	26750	411,43
24650	427,58	26800	400,88
24700	433,68	26850	414,89
24750	435,33	26900	409,95
24800	420,33	26950	413,74
24850	426,92	27000	411,1
24900	434,51	27050	412,75
24950	425,6	27100	405,66

27150	409,62	28250	384,23
27200	402,36	28300	389,84
27250	403,35	28350	382,91
27300	400,55	28400	379,95
27350	396,92	28450	385,38
27400	383,24	28500	375,49
27450	398,9	28550	366,1
27500	391,98	28600	378,96
27550	383,41	28650	371,7
27600	395,27	28700	356,7
27650	393,46	28750	365,27
27700	373,68	28800	356,7
27750	384,4	28850	358,19
27800	392,64	28900	363,63
27850	387,36	28950	363,3
27900	382,09	29000	365,11
27950	394,62	29050	360,82
28000	381,76	29100	366,76
28050	383,41	29150	353,24
28100	393,13	29200	360,49
28150	399,56	29250	349,12
28200	382,42	29300	351,1

3. Pengujian dengan setpoint 500 rpm

Waktu (ms)	Kecepatan (rpm)	800	497,64
0	0	850	496,32
50	80,24	900	495,99
100	131,04	950	507,53
150	259,78	1000	494,34
200	351,76	1050	490,55
250	399,89	1100	500,6
300	422,14	1150	496,65
350	429,23	1200	508,52
400	450,49	1250	494,34
450	452,97	1300	500,6
500	468,13	1350	501,1
550	483,3	1400	494,34
600	483,79	1450	506,37
650	488,24	1500	500,44
700	494,67	1550	503,08
750	476,54	1600	493,68

1650	496,98	3800	497,31
1700	505,05	3850	508,68
1750	498,46	3900	495,16
1800	501,26	3950	490,22
1850	504,07	4000	500,77
1900	486,59	4050	495,66
1950	506,54	4100	509,67
2000	500,77	4150	495,16
2050	502,91	4200	500,11
2100	504,56	4250	502,58
2150	493,68	4300	493,85
2200	493,19	4350	507,69
2250	496,81	4400	496,15
2300	501,76	4450	498,96
2350	506,7	4500	495,99
2400	497,8	4550	495,66
2450	506,7	4600	509,01
2500	488,74	4650	498,46
2550	498,96	4700	500,77
2600	505,55	4750	505,88
2650	495,66	4800	479,18
2700	505,22	4850	505,71
2750	489,73	4900	499,95
2800	498,46	4950	502,09
2850	506,7	5000	512,47
2900	495,66	5050	496,81
2950	508,02	5100	497,31
3000	501,76	5150	502,75
3050	490,05	5200	501,76
3100	506,21	5250	511,48
3150	495,82	5300	495,82
3200	504,89	5350	502,75
3250	500,6	5400	490,05
3300	498,63	5450	495,99
3350	494,84	5500	509,01
3400	493,85	5550	496,65
3450	506,37	5600	503,9
3500	507,03	5650	504,56
3550	496,98	5700	493,52
3600	507,86	5750	503,74
3650	483,79	5800	493,85
3700	502,91	5850	502,75
3750	502,58	5900	497,8

5950	482,64	8100	497,31
6000	502,75	8150	511,98
6050	494,18	8200	496,98
6100	503,9	8250	502,42
6150	503,57	8300	488,24
6200	495	8350	493,85
6250	497,31	8400	508,85
6300	495,82	8450	498,13
6350	502,75	8500	509,01
6400	506,7	8550	505,38
6450	493,35	8600	497,97
6500	506,87	8650	510,82
6550	481,98	8700	495,66
6600	503,57	8750	500,93
6650	508,35	8800	499,45
6700	500,6	8850	482,14
6750	512,31	8900	506,37
6800	503,08	8950	498,63
6850	492,36	9000	504,23
6900	508,35	9050	506,37
6950	499,62	9100	492,53
7000	510,33	9150	496,98
7050	498,63	9200	499,78
7100	488,24	9250	500,27
7150	505,05	9300	509,18
7200	495,66	9350	497,31
7250	506,87	9400	503,24
7300	500,44	9450	483,3
7350	497,8	9500	498,79
7400	497,47	9550	506,21
7450	493,02	9600	496,48
7500	503,9	9650	506,04
7550	501,92	9700	500,11
7600	500,77	9750	486,59
7650	505,71	9800	507,53
7700	482,8	9850	492,03
7750	504,07	9900	505,88
7800	499,45	9950	504,23
7850	501,59	10000	495,82
7900	506,21	10050	507,2
7950	492,2	10100	489,56
8000	494,01	10150	502,25
8050	500,93	10200	498,3

10250	497,31	12400	496,48
10300	499,29	12450	503,24
10350	499,29	12500	504,56
10400	509,84	12550	500,11
10450	506,87	12600	506,21
10500	498,13	12650	488,57
10550	507,86	12700	499,95
10600	485,93	12750	503,24
10650	500,11	12800	500,6
10700	507,2	12850	507,2
10750	500,6	12900	500,77
10800	510,16	12950	499,95
10850	501,92	13000	500,27
10900	490,05	13050	497,8
10950	505,38	13100	504,89
11000	496,15	13150	500,6
11050	504,4	13200	493,02
11100	501,76	13250	505,22
11150	497,64	13300	500,44
11200	495,33	13350	505,71
11250	495,49	13400	502,75
11300	501,92	13450	499,95
11350	504,56	13500	495
11400	501,59	13550	498,96
11450	491,87	13600	506,37
11500	500,6	13650	503,57
11550	503,08	13700	501,59
11600	510,49	13750	506,7
11650	501,59	13800	490,38
11700	504,07	13850	502,91
11750	489,07	13900	507,69
11800	497,47	13950	503,9
11850	507,53	14000	507,2
11900	495,99	14050	503,74
11950	505,38	14100	493,19
12000	500,27	14150	503,74
12050	491,7	14200	503,74
12100	507,2	14250	505,38
12150	505,22	14300	504,89
12200	507,86	14350	500,11
12250	505,05	14400	502,09
12300	500,93	14450	499,45
12350	491,37	14500	501,43

14550	502,42	16700	487,75
14600	500,6	16750	495,16
14650	491,54	16800	502,09
14700	501,43	16850	495
14750	504,4	16900	500,93
14800	501,76	16950	499,62
14850	501,1	17000	484,29
14900	502,25	17050	500,44
14950	489,73	17100	497,31
15000	501,59	17150	502,58
15050	501,76	17200	502,42
15100	510,99	17250	498,46
15150	496,15	17300	504,4
15200	496,48	17350	496,48
15250	488,08	17400	500,6
15300	502,91	17450	498,63
15350	501,76	17500	495,66
15400	507,53	17550	493,52
15450	501,26	17600	496,32
15500	501,43	17650	500,11
15550	490,22	17700	503,57
15600	494,84	17750	496,15
15650	501,92	17800	501,43
15700	503,74	17850	485,27
15750	501,76	17900	495,33
15800	492,36	17950	501,1
15850	496,32	18000	500,11
15900	500,44	18050	500,44
15950	499,29	18100	499,12
16000	498,79	18150	484,45
16050	501,92	18200	502,91
16100	485,77	18250	498,79
16150	500,77	18300	500,6
16200	500,11	18350	499,95
16250	501,26	18400	491,54
16300	505,05	18450	484,29
16350	496,48	18500	492,36
16400	489,23	18550	494,18
16450	499,95	18600	496,32
16500	499,45	18650	490,38
16550	501,26	18700	497,64
16600	498,63	18750	491,04
16650	498,3	18800	498,63

18850	483,79	21000	472,09
18900	483,96	21050	453,63
18950	491,54	21100	466,15
19000	477,86	21150	466,65
19050	491,87	21200	462,69
19100	492,69	21250	461,54
19150	486,43	21300	461,54
19200	486,59	21350	448,19
19250	487,09	21400	458,41
19300	474,89	21450	452,64
19350	490,88	21500	458,08
19400	485,27	21550	453,79
19450	486,43	21600	454,12
19500	486,1	21650	451,48
19550	478,68	21700	453,46
19600	472,09	21750	450,99
19650	480,16	21800	452,97
19700	479,18	21850	447,86
19750	484,62	21900	439,78
19800	479,18	21950	448,68
19850	483,96	22000	447,36
19900	472,91	22050	445,71
19950	479,01	22100	442,58
20000	478,19	22150	436,98
20050	481,65	22200	428,57
20100	474,56	22250	437,47
20150	469,45	22300	433,85
20200	478,35	22350	436,81
20250	475,88	22400	438,3
20300	479,34	22450	429,4
20350	474,56	22500	425,93
20400	473,9	22550	432,36
20450	466,15	22600	427,25
20500	466,65	22650	431,37
20550	472,42	22700	433,68
20600	470,11	22750	428,24
20650	466,98	22800	426,76
20700	467,64	22850	430,88
20750	453,13	22900	428,9
20800	463,68	22950	437,14
20850	469,62	23000	434,84
20900	463,19	23050	428,74
20950	469,29	23100	433,02

23150	432,2
23200	431,54
23250	437,97
23300	441,76
23350	426,43
23400	433,85
23450	422,8
23500	429,07
23550	430,71
23600	430,71
23650	418,19
23700	429,4
23750	425,11
23800	426,26
23850	428,57
23900	424,12
23950	409,12
24000	422,97

24050	416,54
24100	420,33
24150	417,69
24200	416,54
24250	412,75
24300	416,7
24350	413,08
24400	420,33
24450	425,27
24500	409,29
24550	416,37
24600	420,82
24650	413,08
24700	413,57
24750	413,08
24800	395,27
24850	403,85
24900	403,68

• **Data Pengujian dengan Gangguan**

1. Setpoint 400 rpm

Waktu (ms)	Kecepatan (rpm)
0	0
50	95,35
100	205,46
150	283,62
200	320,92
250	336,5
300	355,7
350	360,38
400	363,86
450	373,78
500	377,35
550	389,19
600	390,5
650	395,12
700	397,17
750	399,22
800	399,73
850	400,03
900	403,62
950	399,24

1000	390,32
1050	402,49
1100	398,11
1150	400,05
1200	406,05
1250	399,89
1300	388,86
1350	404,92
1400	401,03
1450	399,08
1500	406,05
1550	403,95
1600	396
1650	400,38
1700	402,97
1750	396
1800	400,54
1850	394,38
1900	395,84
1950	401,19
2000	404,43

2050	397,14	4200	392,59
2100	398,92	4250	396,32
2150	396,16	4300	406,05
2200	397,3	4350	408,81
2250	399,24	4400	402,16
2300	405,57	4450	397,95
2350	395,84	4500	405,89
2400	400,54	4550	404,43
2450	398,11	4600	407,84
2500	399,08	4650	410,43
2550	399,24	4700	404,11
2600	406,54	4750	394,7
2650	401,84	4800	405,41
2700	396,65	4850	404,59
2750	396,49	4900	402,16
2800	403,14	4950	405,08
2850	400,05	5000	405,41
2900	405,73	5050	386,27
2950	404,43	5100	394,38
3000	398,59	5150	399,73
3050	402,65	5200	391,78
3100	400,54	5250	393,08
3150	398,43	5300	393,24
3200	401,35	5350	380,92
3250	402,81	5400	390,16
3300	388,86	5450	397,95
3350	401,19	5500	391,3
3400	404,43	5550	392,92
3450	398,27	5600	399,57
3500	402,32	5650	384
3550	403,78	5700	387,41
3600	387,41	5750	394,22
3650	399,08	5800	386,76
3700	406,22	5850	381,57
3750	402,32	5900	388,22
3800	403,62	5950	392,59
3850	404,27	6000	387,57
3900	387,73	6050	389,35
3950	397,14	6100	393,57
4000	402,97	6150	389,03
4050	403,46	6200	382,86
4100	401,35	6250	401,68
4150	404,59	6300	396,49

6350	402,97	8500	394,7
6400	406,38	8550	395,68
6450	395,35	8600	404,92
6500	387,24	8650	397,62
6550	402,16	8700	402,97
6600	401,68	8750	406,86
6650	398,43	8800	387,08
6700	402,81	8850	397,46
6750	398,92	8900	405,57
6800	387,89	8950	396,16
6850	402	9000	395,84
6900	399,73	9050	402,49
6950	399,41	9100	393,41
7000	407,51	9150	402,49
7050	402,16	9200	406,05
7100	387,89	9250	402,97
7150	402,32	9300	396,32
7200	408,32	9350	402,32
7250	400,54	9400	395,51
7300	405,57	9450	399,73
7350	406,38	9500	406,05
7400	393,57	9550	402,49
7450	398,43	9600	391,3
7500	397,95	9650	394,22
7550	389,19	9700	389,84
7600	391,78	9750	391,95
7650	394,54	9800	399,89
7700	394,86	9850	402
7750	395,35	9900	397,95
7800	407,51	9950	401,73
7850	397,3	10000	402,86
7900	391,46	10050	405,32
7950	395,19	10100	412,84
8000	398,27	10150	416,97
8050	391,14	10200	419,76
8100	402,97	10250	418,08
8150	406,22	10300	411,86
8200	398,92	10350	405,08
8250	392,92	10400	406,38
8300	399,24	10450	396
8350	395,35	10500	401,51
8400	400,86	10550	391,3
8450	401,03	10600	397,62

10650	400,24	12800	398,11
10700	403,86	12850	402,81
10750	400,86	12900	396,32
10800	399,81	12950	398,76
10850	399,16	13000	405,41
10900	401,19	13050	406,54
10950	401,19	13100	397,14
11000	406,22	13150	390,81
11050	396,32	13200	401,19
11100	396	13250	397,78
11150	394,7	13300	400,22
11200	399,41	13350	404,59
11250	399,41	13400	395,03
11300	405,73	13450	390,97
11350	402,32	13500	403,46
11400	401,19	13550	399,08
11450	396,97	13600	402,49
11500	399,41	13650	406,05
11550	402,97	13700	401,19
11600	408,32	13750	393,89
11650	405,24	13800	406,7
11700	398,43	13850	401,51
11750	404,11	13900	403,3
11800	399,24	13950	406,38
11850	393,24	14000	399,73
11900	401,19	14050	388,7
11950	405,41	14100	403,95
12000	390,65	14150	404,11
12050	401,19	14200	403,14
12100	406,7	14250	405,08
12150	395,84	14300	403,3
12200	399,24	14350	389,68
12250	403,95	14400	400,86
12300	390,81	14450	404,59
12350	399,24	14500	396,32
12400	404,76	14550	398,43
12450	403,46	14600	402
12500	399,24	14650	399,24
12550	403,78	14700	402,65
12600	390,49	14750	403,3
12650	394,86	14800	398,11
12700	400,38	14850	396,65
12750	401,51	14900	392,11

14950	398,11
15000	398,11
15050	406,86
15100	401,84
15150	398,11
15200	394,86
15250	400,38
15300	398,27
15350	402,49
15400	403,46
15450	397,46
15500	394,22
15550	403,14
15600	396
15650	399,57
15700	403,95
15750	400,38
15800	396,81
15850	403,14
15900	401,84
15950	405,41
16000	404,59
16050	397,78
16100	400,7
16150	403,46
16200	398,43
16250	399,73
16300	402,49
16350	389,68
16400	397,62
16450	403,78
16500	403,46
16550	399,08
16600	402,81
16650	393,73
16700	396,32
16750	404,59
16800	401,84
16850	399,08
16900	401,84
16950	395,35
17000	395,68
17050	397,95

17100	401,51
17150	397,62
17200	399,24
17250	396,32
17300	400,7
17350	400,7
17400	403,3
17450	397,95
17500	389,68
17550	403,46
17600	401,03
17650	401,03
17700	406,22
17750	398,76
17800	388,86
17850	400,38
17900	402,65
17950	400,22
18000	404,27
18050	404,76
18100	393,89
18150	403,95
18200	404,59
18250	404,76
18300	404,27
18350	402,81
18400	389,03
18450	400,38
18500	403,46
18550	401,03
18600	404,27
18650	404,76
18700	388,05
18750	400,22
18800	402,65
18850	401,03
18900	400,54
18950	402,81
19000	400,86
19050	400,22
19100	400,54
19150	397,3
19200	396,81

19250	393,41	21400	401,84
19300	398,27	21450	402,49
19350	397,62	21500	397,62
19400	405,24	21550	399,89
19450	404,76	21600	393,57
19500	398,11	21650	397,78
19550	394,54	21700	399,89
19600	404,27	21750	404,43
19650	399,73	21800	400,38
19700	402,16	21850	390,32
19750	401,84	21900	399,73
19800	396,49	21950	401,03
19850	392,59	22000	398,59
19900	402	22050	401,35
19950	399,24	22100	399,73
20000	403,3	22150	388,22
20050	404,59	22200	403,62
20100	398,59	22250	406,22
20150	390,81	22300	399,08
20200	404,27	22350	402
20250	401,03	22400	400,7
20300	401,68	22450	392,11
20350	406,05	22500	404,92
20400	402,49	22550	407,35
20450	400,05	22600	400,86
20500	403,78	22650	399,41
20550	402,97	22700	403,46
20600	399,08	22750	392,76
20650	402,49	22800	400,38
20700	391,95	22850	405,41
20750	396,65	22900	401,84
20800	403,46	22950	399,57
20850	403,46	23000	402,16
20900	401,35	23050	392,76
20950	403,14	23100	399,24
21000	390,65	23150	405,57
21050	396,32	23200	405,24
21100	400,05	23250	400,86
21150	402,49	23300	400,38
21200	398,92	23350	399,24
21250	403,3	23400	401,03
21300	396,81	23450	400,86
21350	398,59	23500	399,41

23550	399,08	25700	399,57
23600	390,97	25750	402
23650	397,3	25800	400,7
23700	397,46	25850	399,73
23750	401,03	25900	401,51
23800	402,65	25950	391,14
23850	402	26000	402
23900	392,11	26050	402,81
23950	400,38	26100	399,08
24000	402,49	26150	400,54
24050	400,54	26200	392,27
24100	400,86	26250	399,41
24150	401,51	26300	401,51
24200	389,35	26350	401,84
24250	397,46	26400	400,05
24300	401,68	26450	399,24
24350	404,27	26500	391,3
24400	403,46	26550	398,92
24450	400,38	26600	398,92
24500	391,3	26650	404,27
24550	399,89	26700	402,81
24600	402,97	26750	402,49
24650	403,62	26800	394,7
24700	406,54	26850	404,27
24750	403,62	26900	403,14
24800	399,89	26950	403,78
24850	400,22	27000	402
24900	400,86	27050	399,41
24950	398,43	27100	391,62
25000	399,24	27150	400,7
25050	392,59	27200	402,81
25100	399,24	27250	406,05
25150	400,38	27300	404,43
25200	402,81	27350	403,3
25250	402	27400	393,41
25300	404,76	27450	402,65
25350	394,86	27500	403,46
25400	399,08	27550	401,19
25450	402	27600	401,84
25500	400,86	27650	399,41
25550	400,54	27700	398,27
25600	401,68	27750	399,41
25650	390,97	27800	401,19

27850	398,27	29100	401,68
27900	400,86	29150	404,11
27950	389,35	29200	403,3
28000	394,38	29250	401,51
28050	399,73	29300	401,68
28100	402	29350	399,73
28150	403,14	29400	390,81
28200	409,78	29450	402,32
28250	397,46	29500	405,41
28300	399,24	29550	401,84
28350	404,11	29600	401,35
28400	402,65	29650	402,49
28450	400,38	29700	393,24
28500	398,27	29750	400,86
28550	390,16	29800	400,38
28600	396,49	29850	399,73
28650	401,68	29900	400,05
28700	401,84	29950	398,43
28750	399,73	30000	389,03
28800	401,19	30050	398,59
28850	392,27	30100	404,76
28900	399,73	30150	402,65
28950	401,84	30200	400,7
29000	401,03	30250	0
29050	401,68		

2. Setpoint 450 rpm

Waktu (ms)	Kecepatan (rpm)	700	434,43
0	0	750	448,86
50	109,95	800	447,57
100	235,95	850	456,65
150	303,89	900	452,76
200	348,32	950	445,14
250	366,97	1000	443,35
300	388,22	1050	447,57
350	396,81	1100	447,89
400	411,41	1150	458,11
450	418,7	1200	448,86
500	427,95	1250	448,54
550	432,16	1300	444,97
600	444,81	1350	443,51
650	437,03	1400	452,27

1450	456,97	3600	452,11
1500	447,24	3650	455,51
1550	452,76	3700	448,05
1600	441,57	3750	453,57
1650	442,05	3800	460,38
1700	454,22	3850	452,59
1750	451,3	3900	444,32
1800	449,19	3950	460,54
1850	456,49	4000	454,86
1900	437,84	4050	454,38
1950	445,95	4100	451,78
2000	454,54	4150	443,35
2050	445,14	4200	434,76
2100	453,73	4250	445,14
2150	454,05	4300	439,78
2200	445,95	4350	446,92
2250	455,03	4400	440,59
2300	447,89	4450	434,92
2350	447,41	4500	434,27
2400	455,68	4550	433,95
2450	438,49	4600	431,68
2500	446,92	4650	439,3
2550	457,14	4700	434,92
2600	450,16	4750	434,76
2650	454,7	4800	431,03
2700	454,22	4850	437,68
2750	438,81	4900	438,97
2800	454,86	4950	447,41
2850	451,46	5000	442,7
2900	452,76	5050	436,05
2950	456,81	5100	447,57
3000	446,43	5150	446,92
3050	440,27	5200	453,08
3100	456,65	5250	449,84
3150	447,73	5300	444,49
3200	455,03	5350	438,65
3250	451,78	5400	446,43
3300	445,14	5450	447,08
3350	445,14	5500	447,24
3400	451,95	5550	439,14
3450	453,08	5600	439,14
3500	459,89	5650	438
3550	452,59	5700	440,43

5750	448,86	7900	404,11
5800	440,27	7950	407,68
5850	433,95	8000	409,3
5900	443,35	8050	403,95
5950	429,73	8100	410,59
6000	434,76	8150	419,51
6050	440,92	8200	418,54
6100	435,41	8250	424,22
6150	434,27	8300	438,81
6200	439,46	8350	445,62
6250	423,24	8400	448,43
6300	440,43	8450	451,68
6350	440,27	8500	458,57
6400	432,65	8550	463,49
6450	437,19	8600	467,43
6500	437,35	8650	470,11
6550	430,7	8700	465,76
6600	435,73	8750	458,05
6650	436,38	8800	440,92
6700	425,03	8850	445,54
6750	429,89	8900	450,11
6800	418,86	8950	454,7
6850	419,35	9000	451,3
6900	423,08	9050	450,7
6950	426,97	9100	447,89
7000	416,92	9150	449,49
7050	423,89	9200	452,68
7100	416,59	9250	446,43
7150	414,32	9300	454,7
7200	420	9350	453,08
7250	418,22	9400	440,11
7300	410,27	9450	452,76
7350	415,46	9500	448,05
7400	408,65	9550	448,22
7450	414,32	9600	455,68
7500	414,32	9650	447,57
7550	410,11	9700	439,62
7600	411,24	9750	453,57
7650	410,92	9800	444,97
7700	398,11	9850	451,46
7750	409,3	9900	455,19
7800	412,86	9950	444,32
7850	406,38	10000	443,03

10050	451,62	12200	451,95
10100	446,59	12250	454,86
10150	459,41	12300	448,86
10200	446,11	12350	455,19
10250	450,97	12400	453,89
10300	448,86	12450	448,86
10350	446,92	12500	458,59
10400	458,11	12550	447,89
10450	456,32	12600	440,11
10500	447,73	12650	456,65
10550	461,03	12700	450,32
10600	443,19	12750	450,81
10650	448,54	12800	458,27
10700	458,27	12850	445,95
10750	448,38	12900	444,81
10800	448,7	12950	454,05
10850	456,32	13000	449,03
10900	447,08	13050	458,27
10950	450,32	13100	450,32
11000	457,46	13150	444,65
11050	440,43	13200	442,22
11100	454,86	13250	447,41
11150	442,38	13300	451,78
11200	442,86	13350	457,3
11250	455,35	13400	447,89
11300	450,65	13450	450,81
11350	450,16	13500	441,24
11400	453,73	13550	445,46
11450	436,22	13600	452,43
11500	446,76	13650	456
11550	453,89	13700	448,05
11600	449,19	13750	444,65
11650	453,24	13800	447,89
11700	456,49	13850	448,38
11750	435,24	13900	454,54
11800	454,05	13950	448,7
11850	450,97	14000	449,51
11900	445,3	14050	447,57
11950	458,27	14100	445,95
12000	446,27	14150	453,24
12050	440,43	14200	457,62
12100	454,54	14250	451,78
12150	444,16	14300	456,97

14350	441,57	16500	456,81
14400	452,11	16550	455,03
14450	457,3	16600	449,51
14500	449,68	16650	452,59
14550	453,08	16700	447,24
14600	451,95	16750	449,19
14650	436,38	16800	452,92
14700	451,95	16850	447,24
14750	454,86	16900	450,81
14800	452,92	16950	444,49
14850	455,84	17000	445,3
14900	452,27	17050	453,57
14950	437,84	17100	454,05
15000	451,95	17150	449,51
15050	449,51	17200	452,76
15100	450,16	17250	438,65
15150	454,54	17300	446,76
15200	446,76	17350	455,35
15250	450,65	17400	450,32
15300	450,65	17450	448,7
15350	443,68	17500	453,24
15400	448,05	17550	437,84
15450	448,7	17600	450,16
15500	434,92	17650	454,86
15550	453,08	17700	449,03
15600	454,22	17750	453,24
15650	453,73	17800	451,95
15700	453,89	17850	436,7
15750	445,14	17900	454,38
15800	440,59	17950	448,22
15850	451,78	18000	451,14
15900	449,84	18050	460,05
15950	454,38	18100	444,81
16000	454,05	18150	451,62
16050	444	18200	457,62
16100	444,49	18250	450,49
16150	448,05	18300	454,05
16200	451,14	18350	451,62
16250	458,59	18400	437,84
16300	454,7	18450	455,68
16350	453,89	18500	455,51
16400	447,24	18550	453,89
16450	451,62	18600	455,03

18650	448,05
18700	438,16
18750	449,84
18800	448,54
18850	455,19
18900	453,41
18950	449,51
19000	440,59
19050	447,41
19100	448,38
19150	454,54
19200	449,35
19250	448,05
19300	442,22
19350	446,76
19400	454,7
19450	457,3
19500	449,84
19550	450,49
19600	448,86
19650	447,73
19700	449,51
19750	449,19
19800	447,89
19850	441,89
19900	448,05
19950	451,46
20000	456,32
20050	446,92
20100	449,19
20150	445,14
20200	451,14
20250	457,95
20300	456,32
20350	452,27
20400	455,19
20450	442,54
20500	449,84
20550	453,41
20600	451,3
20650	452,11
20700	452,43
20750	438,32

20800	450,97
20850	454,7
20900	452,43
20950	448,05
21000	449,51
21050	451,14
21100	451,3
21150	450,16
21200	450,65
21250	450,49
21300	437,03
21350	449,19
21400	451,3
21450	451,78
21500	452,43
21550	449,84
21600	441,57
21650	448,38
21700	450,97
21750	450,81
21800	451,46
21850	451,62
21900	443,19
21950	452,59
22000	450,81
22050	453,08
22100	451,3
22150	451,14
22200	444,65
22250	452,59
22300	454,86
22350	456,32
22400	452,59
22450	441,41
22500	449,51
22550	450,49
22600	452,59
22650	451,78
22700	452,76
22750	445,3
22800	451,62
22850	452,92
22900	451,14

22950	449,68	25050	450,81
23000	451,3	25100	438,65
23050	439,3	25150	444,32
23100	448,54	25200	452,76
23150	450,32	25250	452,27
23200	449,84	25300	453,08
23250	451,95	25350	451,46
23300	451,14	25400	448,7
23350	440,43	25450	450,32
23400	450	25500	448,05
23450	447,57	25550	447,73
23500	450,49	25600	450,81
23550	452,92	25650	441,08
23600	449,68	25700	449,84
23650	438,81	25750	453,89
23700	451,3	25800	451,78
23750	450,16	25850	454,7
23800	452,59	25900	452,76
23850	450,97	25950	441,08
23900	452,43	26000	448,22
23950	451,62	26050	450,16
24000	448,7	26100	452,11
24050	451,78	26150	454,38
24100	454,7	26200	455,35
24150	452,27	26250	447,08
24200	441,41	26300	453,41
24250	452,59	26350	450,65
24300	452,27	26400	450,32
24350	452,11	26450	452,11
24400	450,97	26500	450,16
24450	452,27	26550	441,24
24500	445,3	26600	453,73
24550	454,86	26650	451,14
24600	452,59	26700	452,59
24650	454,7	26750	450,16
24700	451,14	26800	434,43
24750	449,84	26850	445,46
24800	441,08	26900	449,51
24850	448,54	26950	450,81
24900	452,43	27000	451,3
24950	453,08	27050	450
25000	450,16	27100	0

3. Setpoint 500 rpm

Waktu (ms)	Kecepatan (rpm)		
0	0	2050	499
50	133,5	2100	503
100	282	2150	494
150	363	2200	509
200	400,5	2250	496
250	421,5	2300	501,5
300	435	2350	508
350	443,5	2400	497,5
400	459	2450	506
450	466,5	2500	501
500	478,5	2550	497
550	479	2600	495
600	485	2650	497,5
650	492,5	2700	506
700	492,5	2750	505
750	492,5	2800	500
800	505,5	2850	505,5
850	484,5	2900	485,5
900	494,5	2950	502
950	502	3000	504
1000	500	3050	498,5
1050	501	3100	510,5
1100	498,5	3150	499,5
1150	492	3200	496,5
1200	504	3250	501
1250	495,5	3300	494,5
1300	505	3350	506
1350	499	3400	502
1400	499,5	3450	505,5
1450	494	3500	500
1500	499	3550	496,5
1550	505	3600	508
1600	503	3650	502
1650	499,5	3700	501,5
1700	506,5	3750	504,5
1750	490	3800	487,5
1800	501	3850	504
1850	504	3900	506
1900	497	3950	498
1950	505	4000	509
2000	501	4050	489
		4100	504

4150	504	6300	465
4200	504,5	6350	456,5
4250	508	6400	453
4300	504,5	6450	464
4350	490,5	6500	450,5
4400	504,5	6550	459
4450	494,5	6600	455
4500	491,5	6650	447
4550	491,5	6700	455
4600	487,5	6750	451,5
4650	482,5	6800	445,5
4700	487,5	6850	459
4750	492,5	6900	451
4800	495,5	6950	438,5
4850	486,5	7000	458,5
4900	491,5	7050	445,5
4950	477	7100	445,5
5000	480,5	7150	454
5050	483,5	7200	447,5
5100	477	7250	436,5
5150	474	7300	449
5200	470	7350	439
5250	471,5	7400	443,5
5300	474,5	7450	446
5350	469	7500	442,5
5400	466	7550	444,5
5450	471,5	7600	448,5
5500	457	7650	440
5550	468,5	7700	447,5
5600	470	7750	443
5650	452,5	7800	438,5
5700	459	7850	435,5
5750	461	7900	436,5
5800	444	7950	435,5
5850	460,5	8000	444
5900	458	8050	440
5950	454,5	8100	444
6000	458,5	8150	447,5
6050	455,5	8200	441,5
6100	447,5	8250	441,5
6150	464,5	8300	448,5
6200	456,5	8350	446
6250	460	8400	443

8450	450,5	10600	505,5
8500	440	10650	491,5
8550	444,5	10700	500,5
8600	446,5	10750	487,5
8650	434	10800	490,5
8700	434,5	10850	507,5
8750	444,5	10900	483,5
8800	432,5	10950	491,5
8850	444	11000	502
8900	446	11050	497,5
8950	436	11100	510,5
9000	439,5	11150	498
9050	447,5	11200	499,5
9100	435,5	11250	503
9150	448,5	11300	481
9200	452	11350	503,5
9250	448	11400	500
9300	445,5	11450	500
9350	450,5	11500	508,5
9400	458,5	11550	489,5
9450	469	11600	493
9500	465	11650	496
9550	459,5	11700	500
9600	474,5	11750	511
9650	463,5	11800	493
9700	474	11850	506
9750	476,5	11900	489,5
9800	479	11950	496,5
9850	484	12000	511,5
9900	493	12050	501,5
9950	495	12100	508
10000	500	12150	503,5
10050	500	12200	488,5
10100	506	12250	507,5
10150	499,5	12300	498
10200	505	12350	502,5
10250	505	12400	507
10300	506	12450	497,5
10350	507	12500	509
10400	499	12550	496,5
10450	496	12600	500
10500	500	12650	505,5
10550	496,5	12700	490,5

12750	495
12800	495
12850	499
12900	508,5
12950	497
13000	508
13050	489
13100	492
13150	507
13200	496
13250	504,5
13300	504
13350	484,5
13400	509
13450	495,5
13500	504
13550	505,5
13600	494
13650	494
13700	498
13750	507
13800	510,5
13850	503
13900	494
13950	499
14000	502
14050	502,5
14100	499,5
14150	504
14200	491,5
14250	501
14300	504,5
14350	505
14400	497,5
14450	502
14500	482
14550	503,5
14600	500
14650	503,5
14700	503
14750	494,5
14800	489
14850	501,5

14900	497,5
14950	507,5
15000	499,5
15050	502
15100	490
15150	496,5
15200	508,5
15250	502,5
15300	503,5
15350	502,5
15400	494
15450	502,5
15500	498
15550	505,5
15600	504
15650	491
15700	503
15750	502,5
15800	505
15850	507,5
15900	498,5
15950	492,5
16000	499
16050	500,5
16100	508
16150	498,5
16200	504,5
16250	488,5
16300	498
16350	502,5
16400	497
16450	506
16500	503
16550	489,5
16600	503,5
16650	498,5
16700	502
16750	505,5
16800	494,5
16850	502,5
16900	503,5
16950	498,5
17000	502,5

17050	488,5
17100	493,5
17150	496,5
17200	500
17250	511,5
17300	503
17350	502
17400	493
17450	498,5
17500	509
17550	503
17600	507
17650	505,5
17700	488,5
17750	502,5
17800	498,5
17850	501,5
17900	505,5
17950	498
18000	492
18050	500
18100	502
18150	500
18200	496,5
18250	494
18300	498,5
18350	507
18400	507,5
18450	501,5
18500	504,5
18550	495,5
18600	495,5
18650	502
18700	500,5
18750	506
18800	507,5
18850	493,5
18900	509
18950	500
19000	503,5
19050	504,5
19100	492
19150	490

19200	495,5
19250	499,5
19300	507,5
19350	501
19400	502,5
19450	491
19500	500,5
19550	506,5
19600	502,5
19650	502
19700	497,5
19750	495,5
19800	500,5
19850	500
19900	496
19950	496
20000	484,5
20050	500,5
20100	502
20150	503
20200	500
20250	497,5
20300	487,5
20350	500,5
20400	501
20450	504,5
20500	501
20550	500,5
20600	490,5
20650	498,5
20700	499
20750	504
20800	500,5
20850	504
20900	487,5
20950	501,5
21000	499,5
21050	504,5
21100	505,5
21150	501
21200	503,5
21250	503
21300	501

21350	502,5
21400	502
21450	492
21500	502,5
21550	503,5
21600	505,5
21650	501
21700	503
21750	489,5
21800	498,5
21850	498
21900	499
21950	499
22000	499,5
22050	490,5
22100	497,5
22150	501,5
22200	502,5
22250	498,5
22300	501,5
22350	487,5
22400	501,5
22450	502
22500	501,5
22550	496,5
22600	490
22650	501
22700	502,5
22750	500,5
22800	500,5
22850	504,5
22900	491,5
22950	502
23000	503,5
23050	502
23100	502,5
23150	502
23200	493
23250	504,5
23300	503,5
23350	503,5
23400	502
23450	499

23500	486
23550	497
23600	500
23650	504
23700	504
23750	500
23800	488
23850	499
23900	497,5
23950	505,5
24000	505
24050	501
24100	499,5
24150	497,5
24200	497
24250	493
24300	500
24350	489,5
24400	496,5
24450	503,5
24500	501,5
24550	501,5
24600	499
24650	489
24700	501,5
24750	504
24800	506
24850	505
24900	498,5
24950	489,5
25000	502
25050	503
25100	505
25150	504
25200	497,5
25250	497,5
25300	496,5
25350	497,5
25400	503,5
25450	499
25500	499,5
25550	501,5
25600	0

Lampiran 3 **Data Sheet**



1. Data Sheet Arduino Mega2560

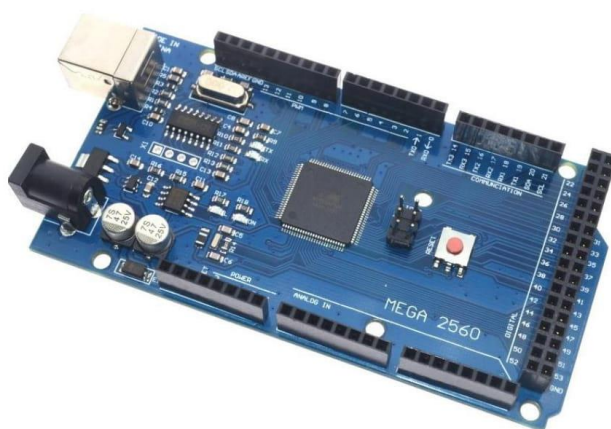


Handson Technology

Datasheet

Arduino Mega2560 Compatible Controller Board

The Arduino Mega 2560 is a development board based on the ATmega2560 microcontroller. The Mega is designed to support more complex projects, in comparison to the UNO board which is more suitable for beginners. It's perfect for use in 3D printing and robotics based projects.



SKU: [MDU1005](#)

Brief Data:

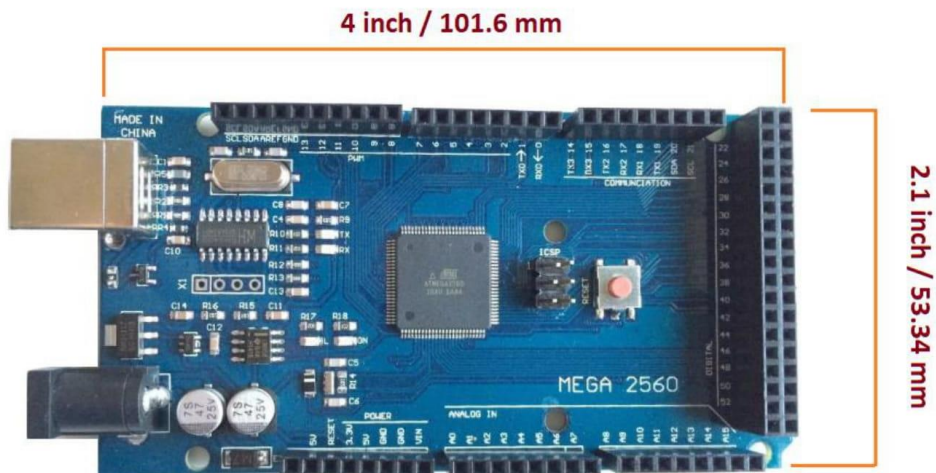
- Controller: ATmega2560.
- Operating Voltage: 5V.
- FLASH memory: 256 KB.
- SRAM: 8 KB.
- EEPROM: 4 KB.
- USB to Serial Interface Chip: CH340G.
- 54 x digital I/O pins (14 can be used as PWM outputs).
- 16 x Analogue inputs.
- 4 x UART.
- 1 x USB.
- 1 x power jack.
- 1 x ICSP header.
- 1 x reset button.
- Dimensions: 101.52 x 53.5 mm.

Package Include:

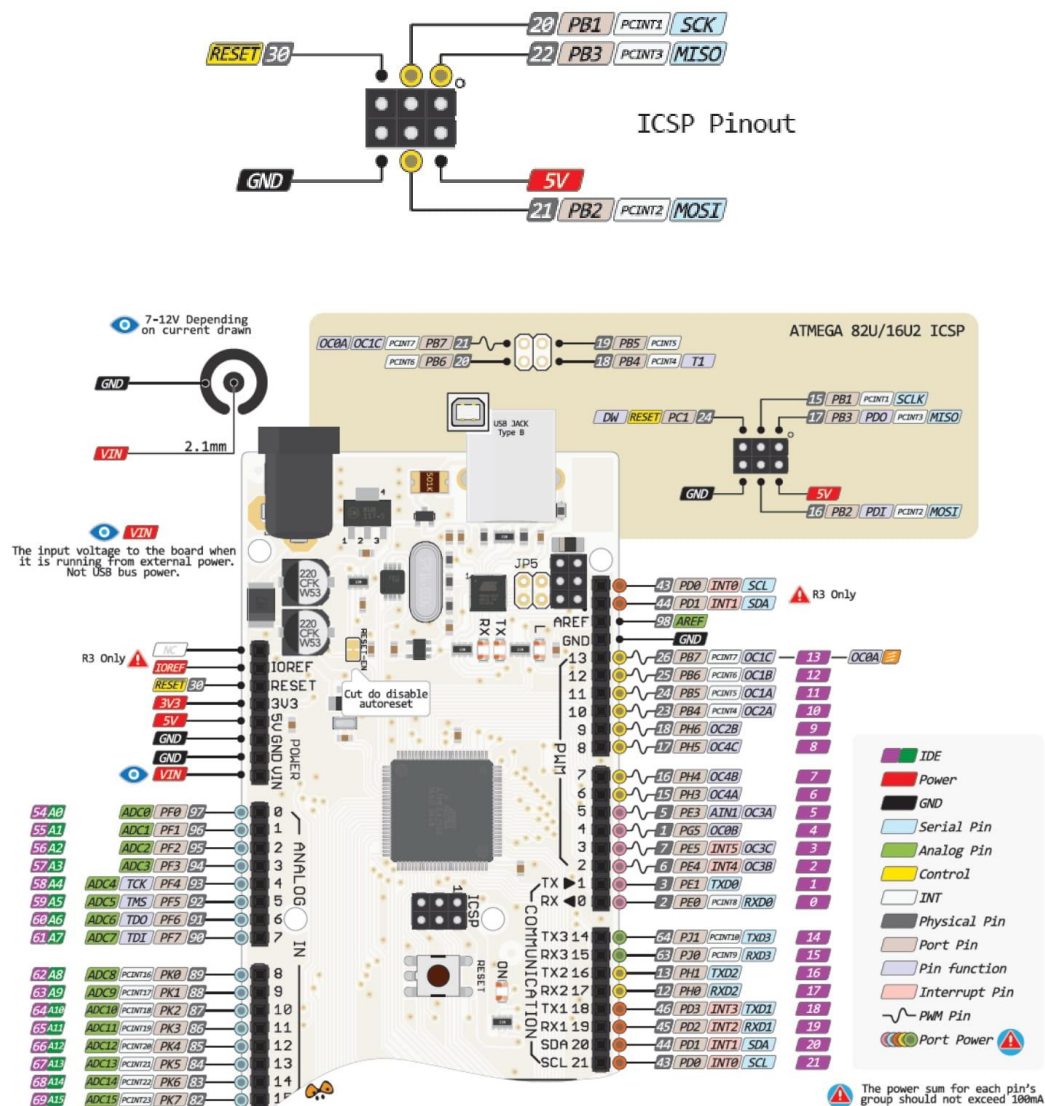
- 1x Arduino Mega2560 Compatible Controller Board
- 1x USB Cable.

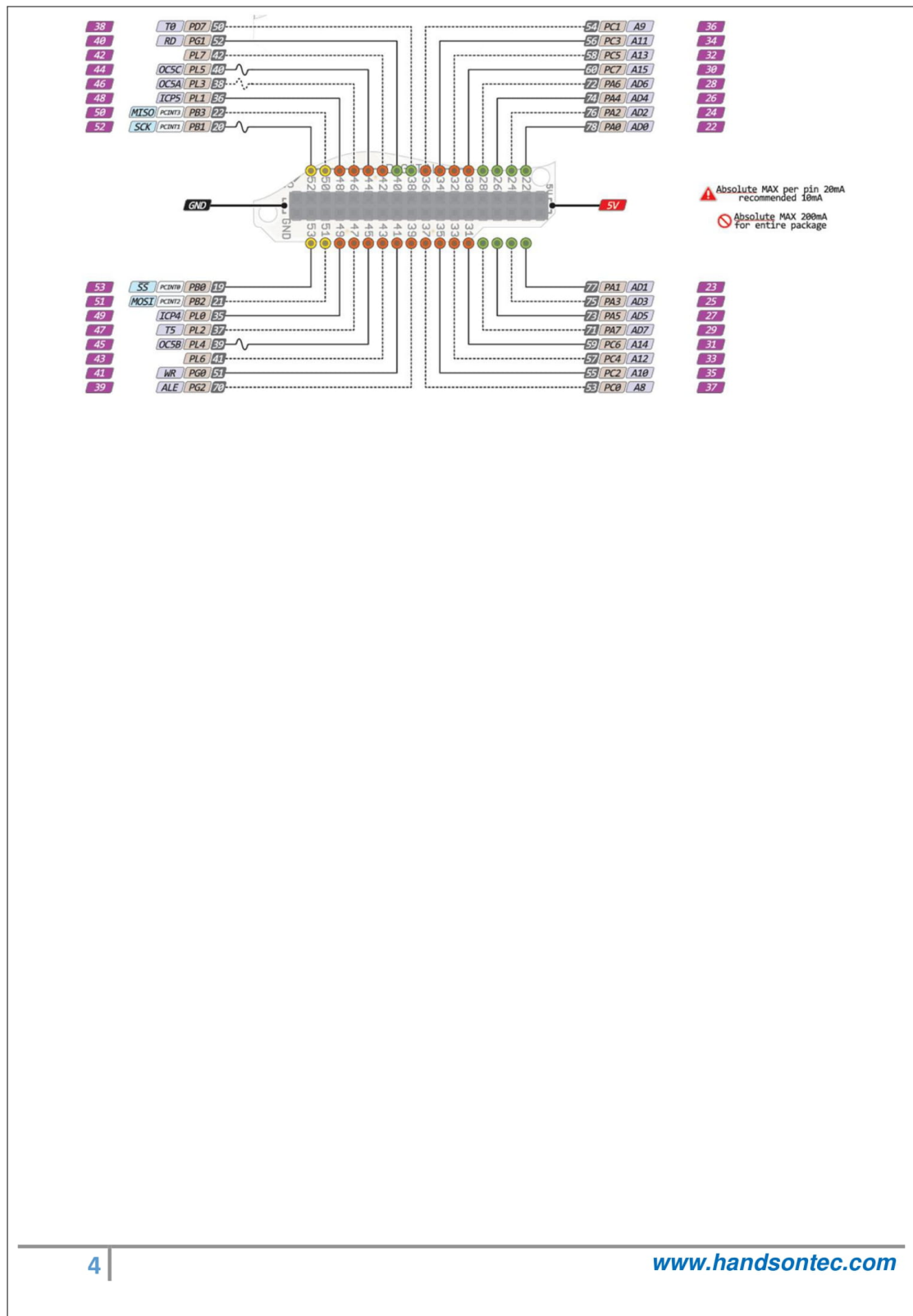
Mechanical Dimension:

Unit: mm



Arduino Mega Pinout:





2. Data Sheet BTS7960 Motor Driver

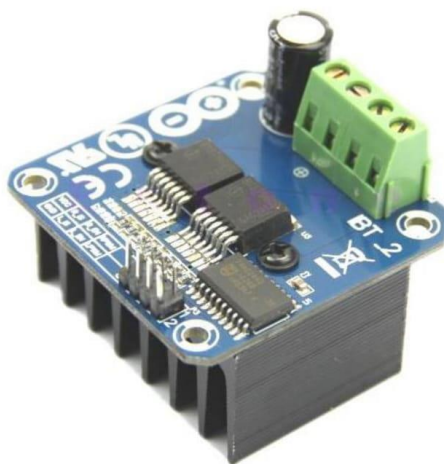


Handson Technology

User Guide

BTS7960 High Current 43A H-Bridge Motor Driver

The BTS7960 is a fully integrated high current H bridge module for motor drive applications. Interfacing to a microcontroller is made easy by the integrated driver IC which features logic level inputs, diagnosis with current sense, slew rate adjustment, dead time generation and protection against overtemperature, overvoltage, undervoltage, overcurrent and short circuit. The BTS7960 provides a cost optimized solution for protected high current PWM motor drives with very low board space consumption.

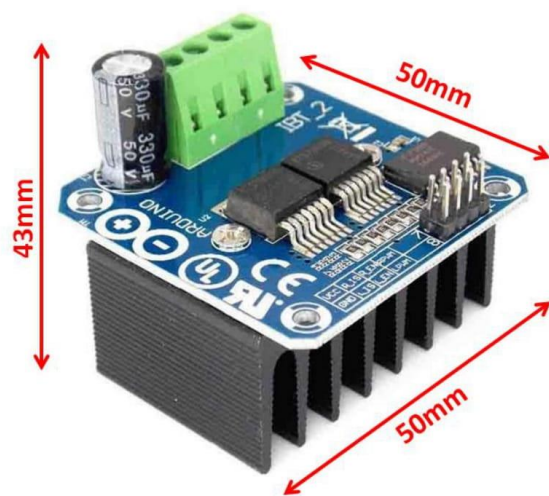
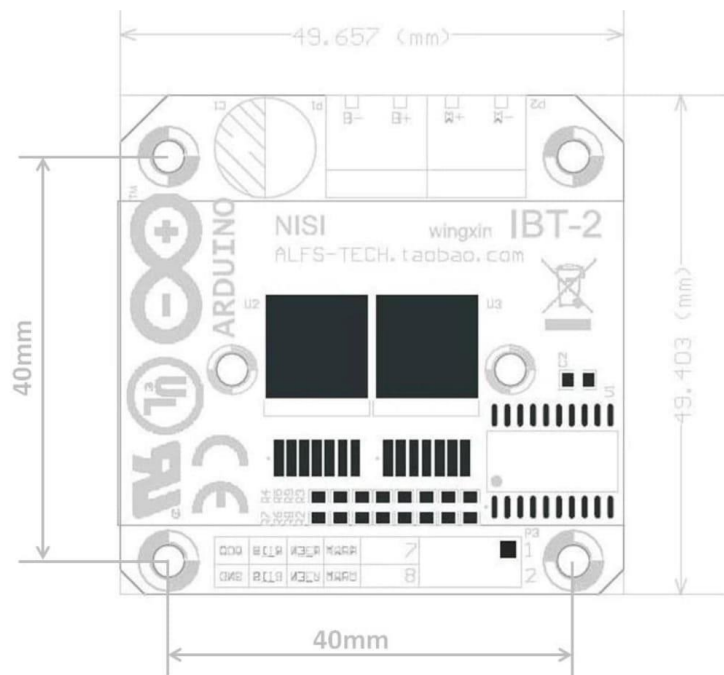


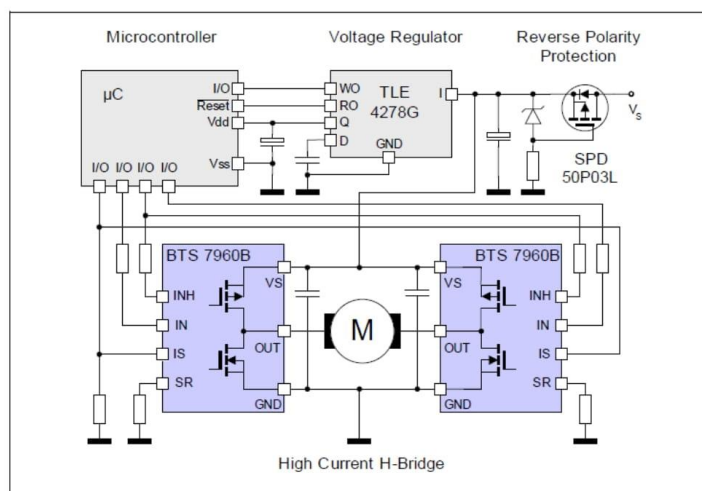
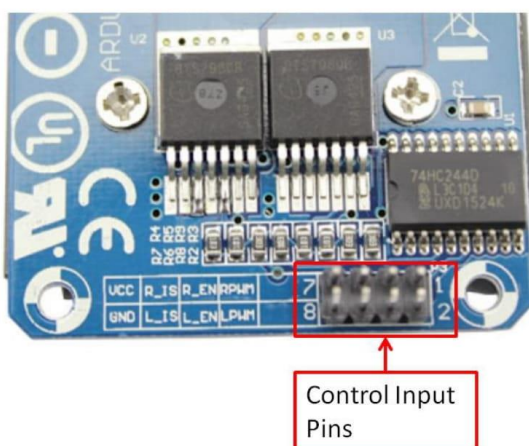
SKU: DRV-1012

Brief Data:

- Input Voltage: 6 ~ 27Vdc.
- Driver: Dual BTS7960 H Bridge Configuration.
- Peak current: 43-Amp.
- PWM capability of up to 25 kHz.
- Control Input Level: 3.3~5V.
- Control Mode: PWM or level
- Working Duty Cycle: 0 ~100%.
- Over-voltage Lock Out.
- Under-voltage Shut Down.
- Board Size (LxWxH): 50mm x 50mm x 43mm.
- Weight: ~66g.

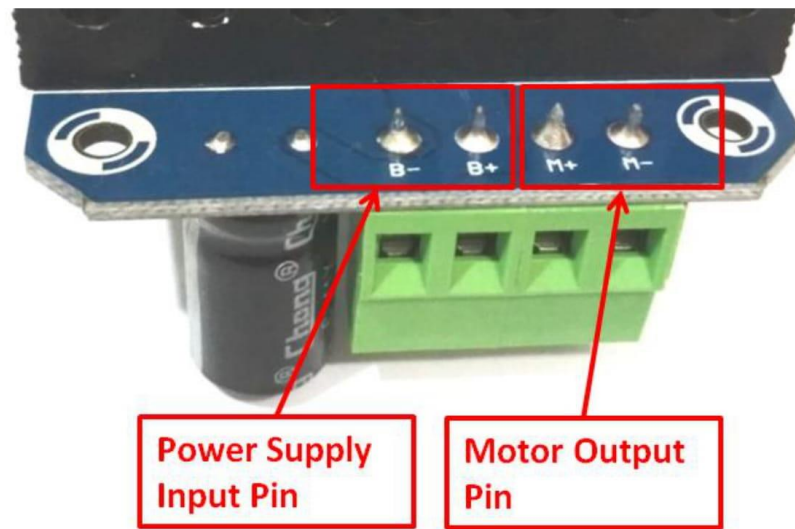
Mechanical Dimension:



Schematic Diagram:**Control Input Pin Function:**

Pin No	Function	Description
1	RPWM	Forward Level or PWM signal, Active High
2	LPWM	Reverse Level or PWM signal, Active High
3	R_EN	Forward Drive Enable Input, Active High/ Low Disable
4	L_EN	Reverse Drive Enable Input, Active High/Low Disable
5	R_IS	Forward Drive, Side current alarm output
6	L_IS	Reverse Drive, Side current alarm output
7	Vcc	+5V Power Supply microcontroller
8	Gnd	Ground Power Supply microcontroller

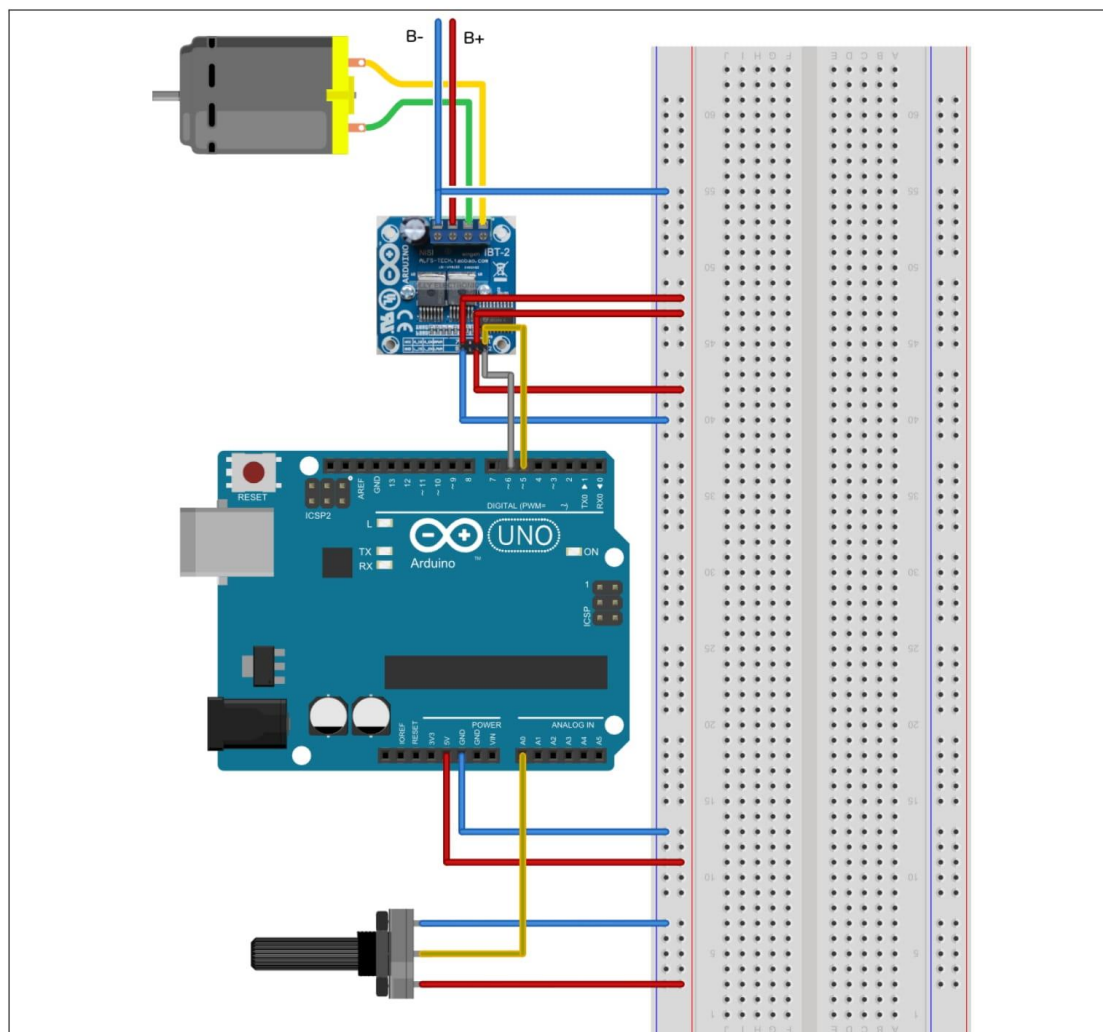
Motor Power Supply & Output Pin Assignment:



Pin No	Function	Description
1	B+	Positive Motor Power Supply. 6 ~ 27VDC
2	B-	Negative Motor Power Supply. Ground
3	M+	Motor Output +
4	M-	Motor Output -

Controlling DC Motor with BTS7960 Using Arduino:

Below is the circuit connection using BTS7960 high power driver to control one DC motor with Arduino board. The potentiometer allows the control of motor speed and rotation direction of the motor.



Arduino to BST7960 Connecting Table:

BST 7960 Pin	Arduino Pin
1 (RPWM)	D5
2 (LPWM)	D6
3 (R_EN)	Arduino 5V
4 (L_EN)	Arduino 5V
5 (R_IS)	Un-connected
6 (L_IS)	Un-connected
7 (VCC)	Arduino 5V
8 (GND)	Arduino GND

Output Wave

The diagram shows a square wave labeled 'A' with a period T . A vertical dashed line indicates the start of a cycle. The period T is marked with a double-headed arrow. Below the wave, a horizontal line with a vertical tick mark indicates a phase shift of $\frac{1}{4}T$.